

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra robotiky

Robot pro video detekce automobilových podvozků

A Robot for a Video Checking of a Car Chassis

Student:

Bc. Marek Šostok

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Zdenko Bobovský, Ph.D.

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra robototechniky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Marek Šostok**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T013 Robotika
Téma: **Robot pro video detekce automobilových podvozků**
A Robot for a Video Checking of a Car Chassis

Zásady pro vypracování:

1. Analyzujte současný stav problematiky kontroly automobilových podvozků .
2. Specifikujte detailní požadavkový list pro podvozek na video detekci automobilových podvozků.
3. Navrhněte varianty řešení podvozků v souladu se sestaveným požadavkovým listem. Proveďte vzájemné zhodnocení navržených variant na základě zvolených kritérií a vyberte z nich tu nejlepší.
4. Zvolenou variantu rozpracujte do úrovně podrobného 3D modelu s využitím dostupného CAD systému. Navržené technické řešení doložte návrhovými a kontrolními výpočty.
5. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu MS WORD.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 2007. 48 s.
ČSN ISO 690 *Informace a dokumentace - Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů*. Praha: Český normalizační institut, 2010.
DRASTÍK, F. *Technické kreslení I. – pravidla tvorby výkresů ve strojírenství*. 2. vydání. Ostrava: Montanex Ostrava, 2005. 260 s. ISBN 87-7225-195-3.
SKAŘUPA, J.; MOSTÝN, V. *Metody a prostředky návrhu průmyslových a servisních robotů*. 1. vydání. Košice: Viena Košice, 2002. 190 s. ISBN 80-88922-55-0.
KÁRNÍK, L. *Servisní roboty*. 1. vydání. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2004. 139 s. ISBN 80-248-0626-6.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

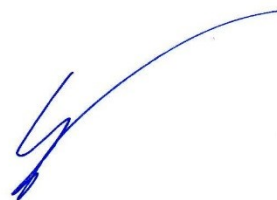
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Zdenko Bobovský, PhD.**

Datum zadání: 31.10.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015



prof. Dr. Ing. Petr Novák
vedoucí katedry



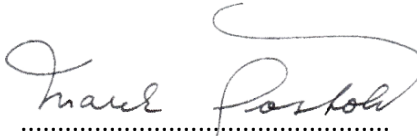
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

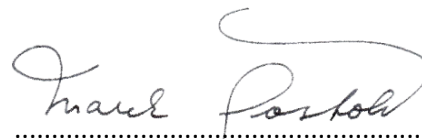
V Ostravě 18. 05. 2015


.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 18. 05. 2015



.....
podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Marek Šostok

Adresa trvalého pobytu autora práce:

U Jiřinky 357, 735 53 Dolní Lutyně



ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

ŠOSTOK, M. *Robot pro video detekce automobilových podvozků: Diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robotiky, 2015, 130 s. Vedoucí práce: Bobovský, Z.

Diplomová práce se zabývá návrhem robotu pro video detekce automobilových podvozků. V úvodu jsou popsány systémy pro monitoring, problematika nástražných výbušných systémů a přehled světových výšek automobilů. Na základě těchto informací jsou stanoveny požadavky pro návrh. Zařízení Leap Motion splňuje požadavky headsetů Oculus Rift a je použito jako stereovizní kamerový systém. Robot umožňuje převoz rušičky signálu. Komunikace je realizována bezdrátově nebo pomocí kabelu přes optické vlákno. Zdrojem energie je akumulátor nebo napájecí kabel. Návrh obsahuje 3D model, návrhové výpočty, výběr vhodných komponent, schéma zapojení, ekonomické zhodnocení a výstupy z testování zařízení Leap Motion.

ANNOTATION OF MASTER'S THESIS

SOSTOK, M. *A Robot for a Video Checking of a Car Chassis: Master's Thesis*. Ostrava: VSB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics, 2015, 130 p. Thesis head: Bobovsky, Z.

Master's thesis deals with the design of a robot for a video checking of car chassis. The systems for monitoring, the issue of explosive systems and the summary of ground clearance of vehicles are described in the introduction. Based on this information the requirements for the design are specified. The Leap Motion controller meets the requirements of headsets Oculus Rift and is used as the stereovision camera system. The robot is able to transport a signal jammer. The communication is realized wirelessly or via optical fiber cable. The power source is the battery or power cable. The design includes 3D model, calculations, selection of suitable components, wiring diagram, economic evaluation and outputs from testing the Leap Motion controller.



Obsah

| | |
|--|----|
| Seznam použitého značení..... | 8 |
| 0 Úvod | 10 |
| 1 Rešerše | 11 |
| 1.1 Subsystemy robotu | 11 |
| 1.2 Systémy pro monitoring a inspekci | 13 |
| 1.3 Souhrn informací z pyrotechniky | 22 |
| 1.4 Přehled světelných výšek automobilů..... | 27 |
| 1.5 Zhodnocení rešerše | 27 |
| 2 Požadavkový list | 28 |
| 3 Oculus Rift | 29 |
| 4 Kamerové systémy | 31 |
| 4.1 FPV3DCam..... | 31 |
| 4.2 Misumi..... | 32 |
| 4.3 Raspberry Pi | 35 |
| 4.4 Ovrvision | 37 |
| 4.5 Logitech..... | 38 |
| 4.6 Leap Motion | 39 |
| 4.7 Výběr kamerového systému | 40 |
| 5 Návrh pohonů..... | 41 |
| 5.1 Volba pohonu..... | 47 |
| 5.2 Řízení..... | 50 |
| 6 Varianty řešení | 51 |
| 6.1 Varianta A..... | 51 |
| 6.2 Varianta B..... | 52 |
| 6.3 Varianta C..... | 52 |
| 6.4 Výběr varianty řešení | 52 |
| 7 Návrh konstrukčního řešení | 53 |
| 7.1 1. Stádium návrhu | 53 |
| 7.2 2. Stádium návrhu | 55 |
| 7.3 3. Stádium návrhu | 56 |
| 7.4 4. Stádium návrhu | 65 |
| 8 Použité komponenty | 73 |



| | | |
|------|-------------------------------------|-----|
| 8.1 | Solenoid..... | 73 |
| 8.2 | Mikro servo | 74 |
| 8.3 | Kola..... | 75 |
| 8.4 | Řídicí počítač a periferie..... | 76 |
| 8.5 | Napájecí konektory | 81 |
| 8.6 | Spínač napájení | 81 |
| 9 | Volba zdroje napájení..... | 82 |
| 9.1 | Návrh kapacity akumulátoru..... | 82 |
| 9.2 | Nabíjecí zařízení | 84 |
| 10 | Ovládání robotu..... | 85 |
| 11 | Schéma zapojení komponent | 87 |
| 12 | Testování zařízení Leap Motion..... | 89 |
| 12.1 | Testování prostředí | 89 |
| 12.2 | Testovací snímky podvozku..... | 91 |
| 12.3 | Zhodnocení testování..... | 99 |
| 13 | Kontrolní výpočty | 100 |
| 13.1 | 3. Stádium | 100 |
| 13.2 | 4. Stádium | 102 |
| 14 | Ekonomické zhodnocení..... | 106 |
| 15 | Návrhy na postup | 111 |
| 16 | Závěr | 112 |
| 17 | Seznam použitých zdrojů..... | 114 |
| 18 | Seznam příloh..... | 119 |



Seznam použitého značení

| Symbol | Význam | Jednotka |
|--------------------|---|--------------------------------|
| a | Maximální zrychlení | $[\text{m}\cdot\text{s}^{-2}]$ |
| a_T | Vzdálenost těžiště od osy předního kola | $[\text{m}]$ |
| b_T | Vzdálenost těžiště od osy zadního kola | $[\text{m}]$ |
| c | Vzdálenost působíště reakce R_{ZK} od středu uložení hřídele | $[\text{m}]$ |
| d | Vzdálenost působíště reakce $R_{př}$ od středu uložení hřídele | $[\text{m}]$ |
| e | Vzdálenost působíště reakce R_{ZK} od středu ložiska hřídele převodovky | $[\text{m}]$ |
| f | Vzdálenost působíště reakce R_{L2} od středu ložiska hřídele převodovky | $[\text{m}]$ |
| F_K | Celková hnací síla | $[\text{N}]$ |
| f_K | Součinitel valivého odporu | $[-]$ |
| F_{K1} | Hnací síla na jednom kole | $[\text{N}]$ |
| f_T | Součinitel smykového tření | $[-]$ |
| g | Normální tíhové zrychlení | $[\text{m}\cdot\text{s}^{-2}]$ |
| G | Tíha | $[\text{N}]$ |
| h | Výška stoupání | $[\text{m}]$ |
| $i_{př}$ | Převodový poměr | $[-]$ |
| K_{1h} | Kapacita akumulátoru pro hodinový provoz | $[\text{Ah}]$ |
| $K_{20\%}$ | Kapacita akumulátoru 20 % doby provozu | $[\text{Ah}]$ |
| $K_{30\text{min}}$ | Kapacita akumulátoru pro provoz 30 minut | $[\text{Ah}]$ |
| $K_{80\%}$ | Kapacita akumulátoru 80 % doby provozu | $[\text{Ah}]$ |
| K_p | Potřebná kapacita akumulátoru | $[\text{Ah}]$ |
| l | Délka stoupání | $[\text{m}]$ |
| m | Maximální hmotnost robotu včetně rušičky signálu | $[\text{kg}]$ |
| m_k | Hmotnost kabelu | $[\text{kg}]$ |
| M_{K1} | Potřebný krouticí moment | $[\text{N}\cdot\text{m}]$ |
| M_m | Nominální krouticí moment motoru | $[\text{N}\cdot\text{m}]$ |
| $M_{př}$ | Krouticí moment na výstupu z převodovky | $[\text{N}\cdot\text{m}]$ |
| m_R | Hmotnost robotu včetně rušičky signálu | $[\text{kg}]$ |
| n_K | Potřebné otáčky | $[\text{min}^{-1}]$ |
| n_m | Nominální otáčky motoru | $[\text{min}^{-1}]$ |
| $n_{př}$ | Výstupní otáčky | $[\text{min}^{-1}]$ |
| O_f | Valivý odpor | $[\text{N}]$ |
| O_k | Odpor kabelu | $[\text{N}]$ |
| O_s | Odpor stoupání | $[\text{N}]$ |
| O_z | Odpor zrychlení | $[\text{N}]$ |



| | | |
|-------------|--|----------------------|
| P_{K1} | Hnací výkon | [W] |
| P_m | Výkon motoru | [W] |
| $P_{př}$ | Přenesený výkon na výstup z převodovky | [W] |
| R_1 | Reakce působící na předních kolech | [N] |
| R_2 | Reakce působící na zadních kolech | [N] |
| r_K | Poloměr kola | [m] |
| R_{L1} | Reakce působící na ložisko hřídele převodovky | [N] |
| R_{L2} | Reakce působící na přidané ložisko | [N] |
| R_{PK} | Reakce působící na přední kolo | [N] |
| R_{ZK} | Reakce působící na zadní kolo | [N] |
| s | Sklon stoupání | [-] |
| v | Maximální rychlost | [m s ⁻¹] |
| x_1 | Vzdálenost souřadného systému od osy předního kola | [m] |
| x_2 | Vzdálenost souřadného systému od osy zadního kola | [m] |
| α | Úhel nakloněné roviny | [°] |
| $\eta_{př}$ | Účinnost převodovky | [-] |
| ϑ | Součinitel vlivu rotačních částí | [-] |

| | |
|--|--|
| APC (Angle-Polished Connectors) | Zakončení optického vlákna zkosené pod úhlem 8° |
| API (Application Programming Interface) | Rozhraní pro programování aplikací |
| FDM (Fused Deposition Modeling) | Technologie rychlé tvorby prototypu |
| FPV (First Person View) | Pohled první osoby |
| IR LED (Infrared Light-Emitting Diode) | Dioda emitující infračervené světlo |
| LED (Light-Emitting Diode) | Dioda emitující světlo |
| LiPo (Lithium-Polymer) | Lithium-Polymerový akumulátor |
| NIR LED (Near-Infrared Light Emitting Diode) | Dioda emitující světlo blízké infračervenému |
| SSD (Solid-State Drive) | Datové médium neobsahující mechanické pohyblivé části |
| STL (Stereolithography) | Formát souboru používaný v technologiích rychlé tvorby prototypu |
| UPC (Ultra-Polished Connectors) | Rovné zakončení optického vlákna |
| WDM (Wavelength Division Multiplexing) | Vlnový multiplex |

Hodnoty parametrů uvedené v datových listech výrobců jsou přepočteny do jednotek SI soustavy, pokud již v nich nebyly udány.

Značení měn dle ISO 4217. Přepočet cen je proveden dle kurzu České národní banky ze dne 1. 5. 2015:

1 USD = 24,460 CZK 1 CHF = 26,161 CZK 1 EUR = 27,430 CZK 1 GBP = 37,747 CZK



0 Úvod

Servisní robot lze definovat jako volně programovatelné mobilní zařízení, které zčásti nebo zcela automaticky vykonává servis, službu nevýrobního charakteru [1]. V současné době servisní roboty nachází uplatnění v mnoha oborech lidské činnosti, patří zde především vojenství, ochranné složky, vesmírný výzkum, zdravotnictví, inspekce a monitoring. Návrh konstrukce se odvíjí od pracovního prostředí a činnosti, kterou má robot vykonávat. Mezi výhody nasazování servisních robotů spadá ochrana lidského života a zdraví, neboť mnoho činností je vykonáváno v prostředí pro člověka nebezpečném a často i nedostupném. Při nynějším nárůstu kriminální činnosti ve všech sférách lidského života je nutná aktivní ochrana a prevence. Tak jako ve všech oblastech, dochází i zde k pokroku, miniaturizaci a vývoji nových řešení.

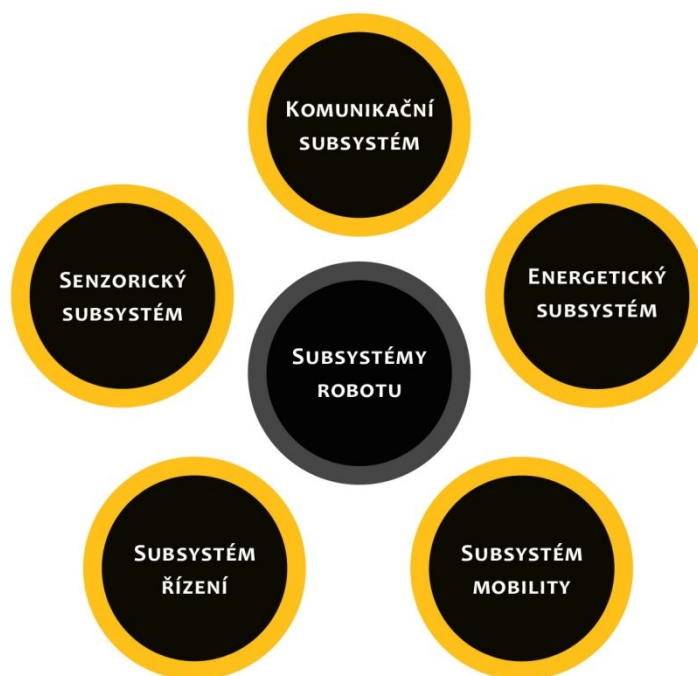
Cílem diplomové práce je navrhnout vhodné konstrukční řešení robotu pro video detekce automobilových podvozků za účelem odhalení přítomnosti nástražného výbušného systému. Při návrhu je kladen důraz především na pokrytí potřeb pyrotechnických bezpečnostních složek, na minimalizaci celkových rozměrů robotu a využití stereovize spolu s headsetem Oculus Rift.

1 Rešerše

Náplní této kapitoly je popis dílčích subsystémů robotu určeného pouze pro monitoring bez akčního zásahu, přehled aktuálního stavu v oblasti monitorovacích a inspekčních robotů. Dále kapitola obsahuje souhrn informací z pyrotechniky, přehled světlých výšek automobilů a zhodnocení získaných poznatků.

1.1 Subsystémy robotu

Servisní robot lze chápat jako uspořádání funkčních skupin – subsystémů, které jsou mezi sebou provázány a umožňují tak vykonávat úlohu, pro kterou byl navržen.



Obr. 1-1 Subsystémy robotu

Energetický subsystém – Skupina zdrojů, prvků a rozvodů energie zabezpečující provozuschopnost robotu. Zdroje energie se dělí na externí, např. napájení přes kabel; a interní, např. akumulátor. V případě použití akumulátoru jsou důležitými parametry jmenovité napětí, maximální proudová zatížitelnost, kapacita, vnitřní odpor, rychlost samovybití, počet nabíjecích cyklů, paměťový efekt a v neposlední řadě rozměry, hmotnost a princip akumulace energie [2].

Subsystém mobility – Uspořádání prvků zajišťujících pohyb servisního robotu v operačním prostoru (rám a podvozek, pohony, komponenty pro přenos pohybu); je používán jako platforma pro montáž částí jiných subsystémů. Subsystémy lze klasifikovat podle způsobu realizace pohybu, který vychází z umělých a biologických modelů.

- Umělé modely - Pásový, kolový, hybridní;



- Biologické modely – Kráčejí, plavající, létající, šplhající, plazivý, hybridní;

U robotů určených pro monitoring a inspekci jsou využívány všechny druhy pohybu. Požadavky kladené na subsystém jsou především pohyb v určeném směru, okamžitá změna směru pohybu, vysoká manévrovatelnost, dynamika pohybu, průchodnost terénem, stoupavost, nosnost a stabilita. Významná kritéria jsou také celková hmotnost a obrysové rozměry [2].

Subsystém řízení – Jedná se o seskupení potřebných hardware (mikropočítač, mikroprocesor, mikrokontrolér, elektronika pro zpracování dat ze senzorů) a software (programové vybavení) prvků, které zajišťují požadovanou funkčnost robotu. Dle stupně inteligence a vybavenosti senzorického subsystému lze ovládání robotu rozdělit na:

- Neautonomní – Ovládání operátorem bez zpětné vazby senzorů;
- Částečně autonomní – Ovládání operátorem se zpětnou vazbou senzorů, např. detekce a vyhnutí se překážkám, které operátor není s to postřehnout;
- Zcela autonomní – Robot sám vyhodnocuje své chování na základě dat získaných ze senzorů [2];

Senzorický subsystém – Senzor neboli čidlo slouží jako zdroj informací pro řídicí systém. Měřená fyzikální veličina je převáděna na signál, nejčastěji elektrický, a ten je řídicím systémem dále vyhodnocován.

Rozdělení senzorického subsystému:

- Vnější – Snímá stav prostředí, ve kterém se robot pohybuje;
- Vnitřní – Monitoruje stav uvnitř robotu, např. teplotu pohonů, stav nabití akumulátoru;

Mezi používaná čidla patří např. taktilní spínače, IR detektory, sonary, inklinometry, akcelerometry, gyroskopy, GPS, kamery, skenery, senzory pro měření teploty, tlaku, napětí a proudu [2].

Komunikační subsystém – Skládá se z prvků, které zajišťují komunikaci (přenos příkazů a dat nasbíraných senzorickým subsystémem) uvnitř robotu a mezi robotem a stanovištěm operátora – nadřazenou úrovní. Může být realizována bezdrátově, např. Wi-Fi a Bluetooth, které pracují v ISM pásmu 2,4 GHz; anebo pomocí kabelu, např. USB, Ethernet. Mezi důležité parametry patří maximální dosah, rychlost a kvalita komunikace, napájecí napětí, spotřeba, rozměry a hmotnost všech komponent [2].

1.2 Systémy pro monitoring a inspekci

Recon Robotics

Společnost Recon Robotics nabízí celou řadu taktických robotů včetně příslušenství. Pro roboty této firmy je typické tělo tvaru válce s dvěma koly a oporou ve středu. Pro příklad jsou níže uvedeny modely Throwbot XT a Recon Scout UVI Robot, který slouží primárně pro monitoring podvozků. Všechna zařízení jsou odolná vůči nárazům a jednotlivé typy disponují obdobnými parametry [7].

* Testované hodnoty udávané výrobcem.

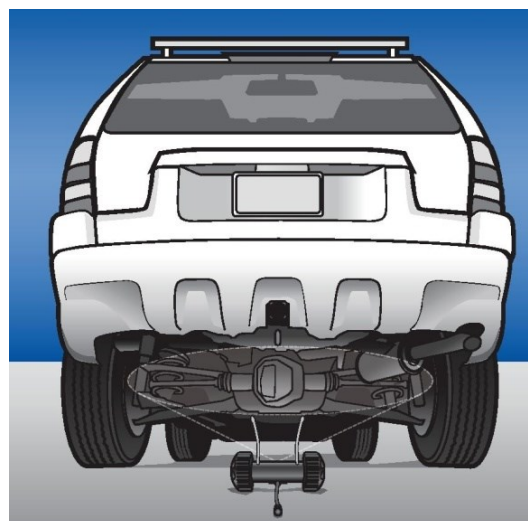


Obr. 1-2 Recon Robotics Throwbot XT [7]

Tab. 1-1 Recon Robotics Throwbot XT [7]

| Recon Robotics Throwbot XT | |
|-------------------------------|--|
| Provedení | Velmi tiché |
| Dosah indoor * | 30 m |
| Dosah outdoor * | 91 m |
| Rychlost * | 0,46 m/s (1,66 km/h) |
| Odolnost proti nárazu * | 9 m (vertikálně) |
| Odolnost proti nárazu hodem * | 36 m (horizontálně) |
| Odolnost proti vodě | Náhodné ponoření; do hloubky 0,3 m; až 5 min; |
| Rozměry (d × š × v) | 209 × 193 × 114 mm |
| Hmotnost | 0,54 kg |
| Doba provozu (rovný terén) * | 60 min |
| Video | Černobílý obraz; zorné pole 60°; frame rate 30 fps; IR osvětlení 7,62 m; |

| | |
|-----------------------------|--|
| Audio | Jednosměrný (pouze poslech); šum mikrofonu 35 dBSPL; |
| Kompatibilní ovládací panel | Operator Control Unit II (OCU II) |



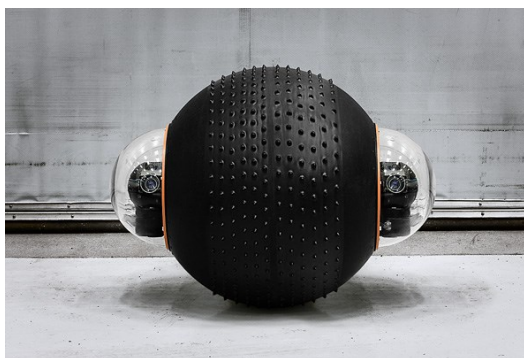
Obr. 1-3 Recon Robotics Scout UVI Robot [7, 32]

Tab. 1-2 Recon Robotics Scout UVI Robot [7, 32]

| Recon Robotics Scout UVI Robot | |
|--------------------------------|--|
| Provedení | Pro monitoring podvozku automobilu |
| Dosah indoor * | 30 m |
| Dosah outdoor * | 91 m |
| Rychlost * | 0,3 m/s (1,1 km/h) |
| Odolnost proti nárazu * | 9,1 m (vertikálně) |
| Odolnost proti nárazu hodem * | 36,5 m (horizontálně) |
| Rozměry (d × š × v) | 142 × 194 × 76 mm |
| Hmotnost | 0,55 kg |
| Doba provozu (rovný terén) * | 60 min |
| Video | Černobílý obraz; zorné pole 60°; frame rate 30 fps; vysoká citlivost při slabém osvětlení; optika je orientována pod úhlem 32° od horizontu; |
| Kompatibilní ovládací panel | Operator Control Unit II (OCU II) |

Rotundus

Společnost Rotundus uvedla na trh monitorovacího robota GroundBot s netradičním řešením konstrukce. GroundBot nachází uplatnění v celé škále činností, např. automatizované hlídkování na letištích, přístavech a skladech; kontrola nebezpečných míst a dálkový monitoring. Robot je schopen pohybu ve většině typů terénu včetně hlubokého sněhu, ledu, bahna a písku, a dokonce plout po vodě. Plášť (k dispozici ve dvou variantách – bez dezénu, s dezénem) je vyroben z polykarbonátu potaženého povlakem s vysokým koeficientem tření. Komunikace je realizována pomocí Wi-Fi nebo přes zabezpečené rádiové spojení. Pro navigaci jsou použity dva dvoupásmové (L1 a L2) GPS přijímače, díky kterým je možné jednoduše programovat automatický průjezd tras včetně orientace kamer na jednotlivých úsecích. Zařízení splňuje stupeň krytí IP67. GroundBot může být doplněn například o IR kamery pro noční vidění, mikrofon a reproduktory, senzory pro měření radioaktivity, detekci tepla, kouře a úniku plynu [8].



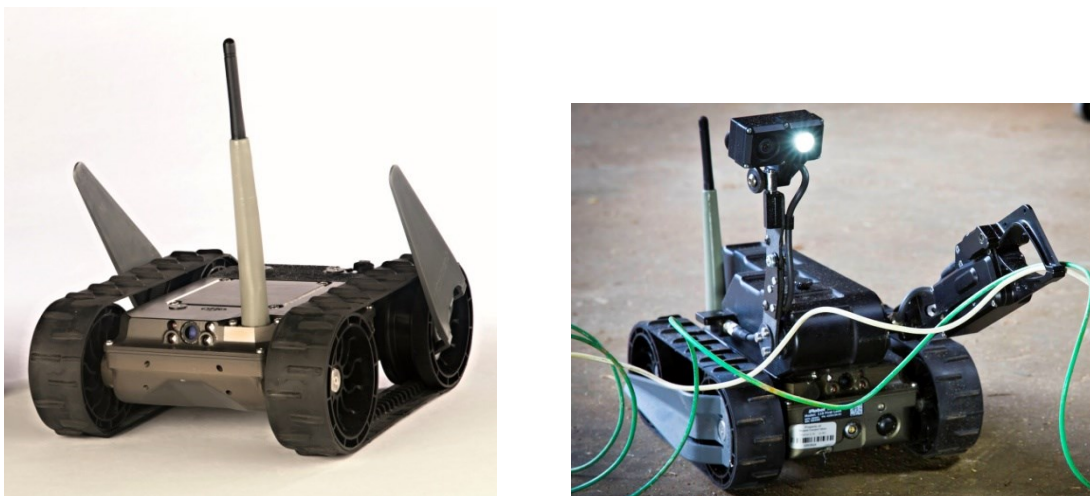
Obr. 1-4 Rotundus GroundBot [8]

Tab. 1-3 Rotundus GroundBot [8]

| Rotundus GroundBot | |
|---------------------------|--|
| Rychlost | 2,8 m/s (10 km/h) |
| Nosnost | 2 kg |
| Rozměry (d × š × v) | 0,8 × 0,6 × 0,6 m |
| Hmotnost | 25 kg |
| Doba provozu | 8 – 16 h dle podmínek |
| Akumulátor, doba nabíjení | Li-Ion, 3 – 4 h |
| Video | 2 kamery; 2D nebo 3D; komprese videa MPEG-4; odesíláno přes RTP (Real-Time Transport Protocol) |
| Komunikace | Wi-Fi/zabezpečené rádiové spojení |
| Stupeň krytí | IP67 |

iRobot

iRobot 110 FirstLook je kompaktní robot robustní konstrukce, který je používán vojenskými složkami během akčních zásahů. Zařízení je k dispozici ve čtyřech konfiguracích, které se liší mírou vybavenosti příslušenstvím pro různé typy akcí. V základní verzi, které je určena pouze pro monitoring, robot disponuje čtyřmi NIR kamerami, které zaručují snímání obrazu i při snížené viditelnosti. Výhodou základní verze je možnost hodů na požadované místo, což ostatní verze kvůli příslušenství, které je uchyceno na montážní platformě, neumožňují. Postranní flippery slouží k překonávání překážek a otočení v případě převrácení robotu. Mezi vybavení, o které je možno robot doplnit, patří manipulátor s nosností 1,4 kg, senzory pro různá měření a termokamera [9, 10, 11].



Obr. 1-5 iRobot 110 FirstLook [10, 11]

Tab. 1-4 iRobot 110 FirstLook [9, 10, 11]

| iRobot 110 FirstLook | |
|------------------------------|---|
| Dosah při přímé viditelnosti | 200 m |
| Maximální výška překážky | 178 mm |
| Rychlost | 1,5 m/s (5,5 km/h) |
| Odolnost proti nárazu | 4,57 m (vertikálně) |
| Rozměry (d × š × v) | 254 × 229 × 102 mm |
| Hmotnost | 2,4 kg |
| Doba provozu | Více než 6 h v průměru |
| Video | 4 NIR vestavěné kamery po (vepředu, vzadu, po stranách); 8× digitální zoom; |
| Komunikace | 2,4 nebo 4,9 GHz |
| Stupeň krytí | IP67; vodotěsné do hloubky 1 m; |
| Cena | 20 000 USD (434 900 CZK) |

ECA Robotics

Vysoce odolný robot Cobra MK2 je všestranným pomocníkem ozbrojených sborů jak ve vnitřních, tak i venkovních prostorech. Na montážní platformu je možno uchytit např. přídavné kamerové moduly, malé disruptory pro zneškodnění výbušných systémů a různé typy snímačů. Pro situace, kdy je nutné pracovat pod rušením, robot disponuje možností komunikace po kabelu. V zadní části je umístěno madlo pro přenos [12].



Obr. 1-6 ECA Robotics Cobra MK2 [12, 13]

Tab. 1-5 ECA Robotics Cobra MK2 [12]

| ECA Robotics Cobra MK2 | |
|-------------------------------|--|
| Maximální dosah | 250 m |
| Rychlost | 1,7 m/s (6 km/h) |
| Nosnost | 5 kg |
| Rozměry (d × š × v) | 370 × 400 × 180 mm |
| Hmotnost | 6,1 kg |
| Doba provozu | Max. 2 h 30 min |
| Akumulátor | 15V Li-Ion |
| Video | 2 kamery (vepředu, vzadu), osvětlení, noční vidění, |
| Audio | Mikrofon, reproduktor |
| Komunikace | Rádiové spojení/po kabelu (optické vlákno, Ethernet) |
| Stupeň krytí | IP65 |

Roboteam

Pozn. Na webových stránkách výrobce byly v záložce pod názvem IRIS uvedeny dva roboty. Parametry prvního robotu jsou získány z datového listu. Parametry druhého jsou získány z propagačního videa uvedeného na téže stránce, nejsou tedy kompletní.

IRIS je zkratkou pro individuální robotický inteligentní systém, za jehož vznikem stojí společnost Roboteam, v jejíž portfoliu nalezneme i zásahový robot a všestrannou mobilní platformu s vysokou nosností. Zařízení nachází využití u vojenských sborů pro průzkum z bezpečné vzdálenosti před zahájením akce. U prvního zařízení jako mechanický interface pro připojení doplňků slouží picatinny kolejnice, která je používána rovněž u palných zbraní k montáži laserových zaměřovačů, modulů pro noční vidění, kamerových modulů, bajonetů a stojanů. Podpora nástaveb je rovněž zajištěna porty Ethernet a RS232. Pohon kol je zajištěn dvěma řemeny [14].



Obr. 1-7 Roboteam IRIS 1 [14]

Tab. 1-6 Roboteam IRIS 1 [14]

| Roboteam IRIS 1 | |
|------------------------------|---|
| Dosah při přímé viditelnosti | 213 m |
| Maximální výška překážky | 64 mm |
| Rychlost | 1,3 m/s (4,8 km/h) |
| Nosnost | 1 kg |
| Stoupání do schodů | 45° |
| Rozměry (d × š × v) | 204 × 229 × 110 mm |
| Hmotnost | 1,2 kg |
| Zdroj napájení | Vyměnitelné baterie |
| Doba provozu | 2 – 4 h dle podmínek |
| Video | Denní a noční vidění + zoom; laser; osvětlení NIR LED; naklápění ±90° |
| Audio | Mikrofon |
| Komunikace | Šifrovaná IP, MESH |

| | |
|------------------------------|------------------------------|
| Stupeň krytí | IP65 |
| Porty pro připojení nástaveb | Ethernet, RS232, Video/Audio |
| Mechanický interface | Picatinny |
| Provozní teplota | -20 až +60 °C |

Druhé zařízení IRIS je robustní a odolné vůči nárazům. Disponuje stupněm krytí IP67 a je tvarováno tak, aby bylo schopné provozu i při jeho obrácení. Za výhodu může být považován zdroj napájení ve formě AA baterií, které jsou běžně dostupné [14].



Obr. 1-8 Roboteam IRIS 2 [14]

Tab. 1-7 Roboteam IRIS 2 [14]

| Roboteam IRIS 2 | |
|-----------------------------|--|
| Rychlost | 1 m/s (3,5 km/h) |
| Odolnost proti nárazu | 10,7 m (vertikálně) |
| Odolnost proti nárazu hodem | 67 m (horizontálně) |
| Hmotnost | 1 kg |
| Zdroj napájení | Vyměnitelné AA baterie |
| Doba provozu | 4 h |
| Video | 360° video a audio (denní i noční); naklápění ±90°; laser; NIR osvětlení |
| Stupeň krytí | IP67 |

Kraken

Na Katedře robotiky je pro monitoring podvozku automobilů již realizován robot Kraken. Jedná se o diferenčně řízenou šesti kolovou mobilní platformu se dvěma pohony. Pohyb je přenášen pomocí řemenů. V přední části je umístěna naklápěcí kamera spolu s laserovým dálkoměrem a LED osvětlením. V zadní části pak pevně uchycená kamera pro couvání. Pro výrobu rámu je použita technologie FDM, jejíž stavebním materiálem je polykarbonát. Na tomto robotu jsou ověřeny vlastnosti a vhodnost pro použití v náročnějších podmínkách. Materiál vykazuje vysokou náchylnost ke vzniku prasklin. Vzhledem k relativně vysoké hmotnosti robotu je jako výplň pneumatik použita polyuretanová pěna, jejíž tvrdost se ukázala jako dostačující. Pro bezdrátovou komunikaci Wi-Fi je použit router s dvěma integrovanými anténami. Router je umístěn pod krytováním, což zapříčiňuje snížení dosahu. Pro konverzi výstupu přední a zadní kamery slouží video enkodér. Ten je vybrán pro svou nízkou latenci při konverzi signálu, která hraje klíčovou roli při přenosu obrazového výstupu v reálném čase. Uvedená cena zahrnuje pouze náklady za materiál, výrobu a použité komponenty [6, 15].



Obr. 1-9 Kraken [6, 15]

Tab. 1-8 Kraken [6, 15]

| Kraken | |
|---------------------|--------------------|
| Rychlost | 2,8 m/s (10 km/h) |
| Rozměry (d × š × v) | 552 × 560 × 130 mm |
| Hmotnost | 21 kg |
| Doba provozu | 1 h |
| Cena | 200 000 CZK |

Bounce Imaging

Cílem tohoto start-up projektu je vytvořit dostupné spotřební monitorovací zařízení s intuitivním ovládáním, které v určitých situacích nahradí nákladné roboty. Jedná se o hoditelnou kouli o velikosti baseballového míčku se zabudovanými senzory (např. pro měření metanu, oxidu uhelnatého a teploty), mikrofonom a kamerami pro panoramatické snímkování. Explorer je osazen celkem šesti kamerami se čtyřmi NIR LED okolo každé pro osvětlení temných prostor. Získaná data jsou přenášena do mobilního zařízení, kterým může být např. smartphone nebo tablet, přes Wi-Fi. V současné době jsou vyvíjeny konfigurace pro policejní, armádní, hasičské a záchranářské složky, a také pro použití v průmyslové inspekci. Cena zařízení by se měla pohybovat v rozmezí 500 – 1 000 USD (12 230 – 24 460 CZK) [16].



Obr. 1-10 Bounce Imaging Explorer [16]

Kerberos

Jedná se o automatický systém sloužící pro inspekci podvozků vozidel. Principem funkce je snímání podvozku laserovými dálkoměry a vytvoření 3D rekonstrukce. Na vývoji systému se podílelo ČVUT v Praze a VOP CZ, s.p. Kerberos umožňuje automatické porovnávání mezi vytvořeným snímkem a snímky, které jsou uloženy v databázi, a rozpoznat přidané objekty a tvarové odlišnosti. Systém není závislý na osvětlení. Maximální rychlost průjezdu vozidla je do 10 km/h [17].



Obr. 1-11 Kerberos [17, 18]

Kyklop

Systém Kyklop stejně jako Kerberos slouží pro inspekci podvozků a byl vyvinut ČVUT v Praze ve spolupráci s VOP CZ, s.p. Namísto laserových dálkoměrů jsou zde použity multiřádkové kamery jejichž výstupem je barevný 2D snímek. Kamera disponuje rozlišením 1 px/mm a umožňuje snímat rychlostí 250 fps. Součástí systému je automatické měření rychlosti a databáze průjezdů. Maximální rychlost průjezdu vozidla je do 20 km/h [17].



Obr. 1-12 Kyklop [17]

1.3 Souhrn informací z pyrotechniky

Pozn. Parametry uvedené v tabulkách mají pouze informační charakter.

Výbušniny jsou látky schopné výbušné přeměny a ve velmi krátkém okamžiku dokážou uvolnit značné množství energie. Použití výbušnin je nejčastější způsob destruktivního útoku právě pro svou vysokou ničivou účinnost. Mezi další důvody patří zničení stop, které mohou vézt k pachateli.

Při výbuchu dochází k těmto jevům [4]:

- Otřes podloží seismickou (otřesnou) vlnou
Může narušit základy budov, zdiva a potrubí. Velikost seismické vlny závisí na hloubce, nakrytí, druhu a množství výbušniny a na vlastnostech okolního podloží.
- Vznik tlakové vlny
Při výbuchu dochází okolo výbušniny k velkému stlačení vzduchu, které se dále šíří prostorem podle typu, množství a jejího uložení. Bezpečná vzdálenost pro volně stojící osobu je dána vzorcem:

$$r_b = k_b \cdot k_u \cdot \sqrt{Q} \quad (1.1)$$

r_b Bezpečná vzdálenost

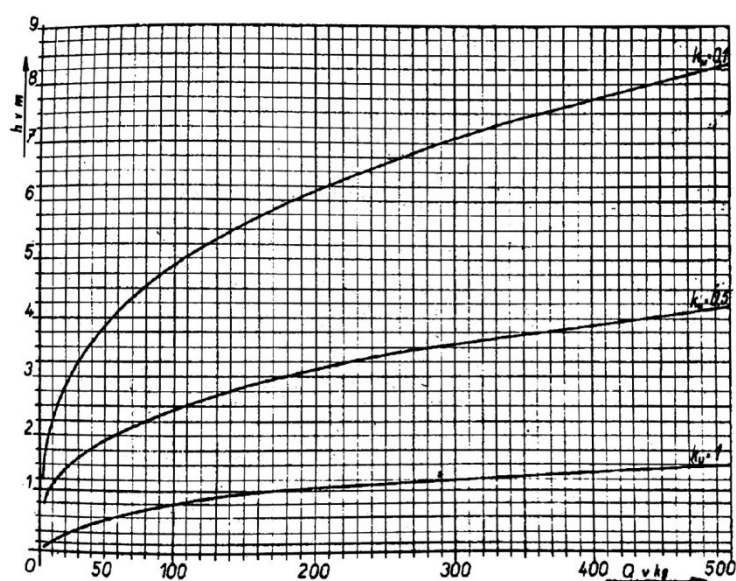
k_b Koeficient závisející na druhu objektu

k_u Koeficient závisející na množství výbušniny a hloubce uložení pod úrovní terénu

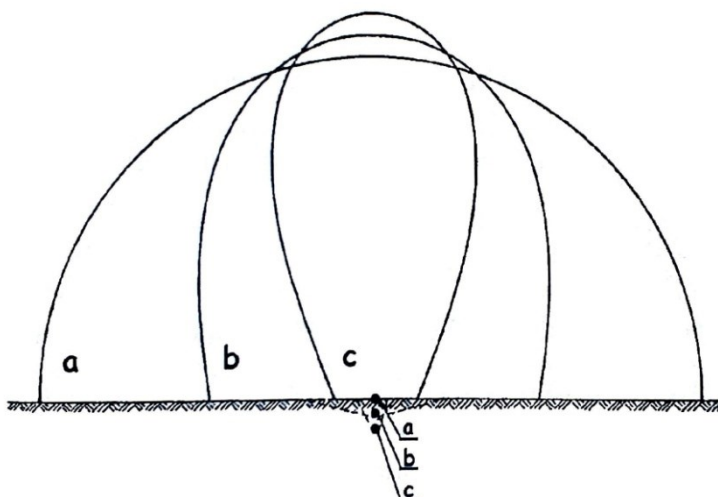
Q Hmotnost výbušniny [kg]

Tab. 1-9 Hodnoty koeficientu k_b [4]

| k_b | Druh rozrušení objektu |
|---------|---|
| 1,5 | Prolomení silných zdí z cihel; úplné zničení průmyslových staveb; poškození mostů a železničních těles; |
| 1,5 – 2 | Rozboření dřevěných budov; převrácení železničních vozů; poškození elektrické sítě; |
| 2 – 5 | Poškození vnitřních dřevěných příček, dveří, domů; |
| 5 – 10 | Úplné rozbití skel; částečné poškození dveří, omítky a krytiny; |
| 10 - 50 | Částečné poškození skel oken; |

Obr. 1-13 Diagram koeficientu k_u [4]

| | |
|-----------|--|
| h | Výška nakrytí [m] |
| Q | Hmotnost výbušniny [kg] |
| $k_u 0,1$ | Koeficient pro utlumení účinku tlakové vlny |
| $k_u 0,5$ | Koeficient pro zmenšení účinku tlakové vlny o 50 % |
| $k_u 1$ | Koeficient pro uložení na povrchu |



Obr. 1-14 Rozsah účinku tlakové vlny [4]

- a Při uložení na povrchu k_u 1
- b Při zakrytí podle koeficientu k_u 0,5
- c Při nakrytí podle koeficientu k_u 1

- Rozdrcení a vymrštění podloží
Při výbuchu trhaviny uložené v podloží, dochází k jeho rozdrcení a rozletu po okolí. Pro snížení ohrožení se nesmí výbušniny zakrývat kamením a jinými tvrdými předměty.
- Rozlet střepin
K rozletu střepin a fragmentů dochází u výbušniny uložené v pevném obalu. Dolet fragmentů závisí na typu, množství výbušniny a hmotnosti a tvaru střepiny. Pokud není možno uzavřít bezpečnostní okruh je rozlet střepin zmenšován nakrytím (sytký materiál – vlhký písek, zemina; proložený ve vrstvách hatěmi, větvevi nebo jiným vhodným materiálem pro zachycení střepin) nebo usměrněním.

Tab. 1-10 Bezpečnostní okruh při rozletu střepin [4]

| Rozlet střepin – Bezpečnostní okruh | | |
|---|--------------------|----------------------------|
| Druh ničené munice | Uložení na povrchu | Uložení v jámě hluboké 1 m |
| Tenkostěnná munice (ruční granáty, ženijní náloživo, trubkové bomby atd.) | 400 m | 200 m |
| Sílnostěnná munice (hmotnost výbušniny do 5 kg) | 800 m | 400 m |
| Sílnostěnná munice (hmotnost výbušniny 5 – 40 kg) | 1 000 m | 800 m |



| | | |
|--|---------|---------|
| Silnostěnná munice (hmotnost výbušniny nad 40 kg) | 2 000 m | 1 000 m |
| Zápalná a osvětlovací munice (uložení v jámě hluboké 1 m) | - | 300 m |

- Vznik zvukové vlny

Počáteční rychlost střepin (až 1 500 m.s⁻¹) je výrazně vyšší než je rychlost šíření zvukové vlny. Přímo letící střepiny dopadají tedy dříve, než je slyšet zvuková vlna výbuchu. Nepřímo letící fragmenty ztrácejí vlivem nepravidelného tvaru na rychlosti a dopadají do okolí až po zvukové vlně výbuchu.

Nástražný výbušný systém (dále jen NVS) je tvořen obalem, který zajišťuje nosnou a maskovací funkci; výbušnou látkou a iniciačním systémem, který nemusí být vždy nutně celý uložen v NVS. Výbušnou látkou může být trhavina, třaskavina, střelivina, pyrotechnická slož a výbušné plyny [4].

Rozdělení iniciačních systémů [4]:

- Časové – Dělí se podle principu, který využívají pro vytvoření časové prodlevy, např. časově závislou změnu fyzikálních vlastností (změna rozměrů, tvaru, elektrického odporu a vodivosti)
- Citlivé na vnější podněty – K iniciaci dojde po předem definované změně podmínek, např. systémy reagující na manipulaci, na změnu vnějšího prostředí, na pohyb osob. Zvláštní skupinu tvoří dálkově ovládaný iniciační systém – umožňuje útočníkovi zvolit čas iniciace tak, aby dosáhl požadovaného účinku. Mohou být ovládány elektronicky bezdrátově (rádiem, zvukem, světlem) nebo po elektrickém vedení.
- Kombinované – Dálkově ovládaný iniciační systém bývá zabezpečen proti manipulaci a doplněn časovanou autodestrukci.

Možnosti iniciace NVS u dopravních prostředků [4]:

- Rádiový roznět na dálku
- Polohový spínač
- Časový spínač
- Prostorové čidlo
- Vlastní elektrický zdroj vozidla – Nastartování pohonu, zapnutí světel, sepnutí brzdových světel
- Mechanické části vozidla – Otevření dveří, zavazadlového prostoru, kapoty motoru
- Termofyzikální změny ve vozidle
- Spínače s fotobuňkou

Tab. 1-11 Přehled rizikových parametrů [4]

| Druh vozidla | Maximální hmotnost výbušniny [kg] | Dosah tlakové vlny se smrtícím účinkem [m] | Minimální vzdálenost pro evakuaci [m] | Oblast pro zranění letícími fragmenty [m] |
|--------------------------------|-----------------------------------|--|---------------------------------------|---|
| Osobní automobil – Sedan | 230 | 30 | 460 | 550 |
| Osobní automobil - Combi | 460 | 40 | 550 | 850 |
| Dodávkové vozidlo | 1 800 | 60 | 850 | 1 200 |
| Nákladní automobil – Valník | 4 500 | 100 | 1 200 | 2 000 |
| Nákladní automobil s cisternou | 13 700 | 140 | 2 000 | 2 200 |
| Nákladní automobil s návěsem | 27 300 | 190 | 2 200 | 2 200 |

Pozn. Problematika NVS je konzultována s odborným pyrotechnikem, panem Ing. Stanislavem Lichorobiecem, Ph.D. Před samotným zásahem je nutné prověření maximálního dosahu v podobném prostředí. V reálných situacích je využívána rušička signálu, která má za úkol eliminovat případné dálkové odpálení NVS. Rušičky mohou být v příručním provedení (určeny pro přenos v kapse, zabudovány do kufru nebo batohu) nebo integrovány ve vozidle. Rušička se umísťuje co nejbližší NVS a může být na místo dopravena robotem. Aby nedocházelo k rušení bezdrátové komunikace mezi robotem a operátorem je nutné zapnutí rušičky až po návratu robota na stanoviště, popř. komunikaci realizovat pomocí kabelu, který je namotán na bubnu a dosahuje maximální délky 100 m. Operátor je bezpečně ukryt např. za stěnou, v automobilu či na střeše blízkého objektu, tak aby nebyl zasažen tlakovou vlnou.



Obr. 1-15 Rušičky signálu [19, 20]

1.4 Přehled světlých výšek automobilů

Světlá výška je definována jako vzdálenost nejnižšího bodu podvozku nebo karoserie automobilu od vozovky. Měří se při zatížení maximální povolenou užitečnou hmotností, což je souhrnná hmotnost osob a nákladu včetně pomocného nebo pracovního zařízení přechodně i nepevně připojeného [21].

Přehled obsahuje běžně používané typy automobilů. Ne všichni výrobci uvádějí světlou výšku. U některých modelů se světlé výšky liší dle konstrukčního provedení (např. Combi) a motorizace. Pro přehlednost je vždy uvedena nejnižší hodnota. Z povahy věci při statické kontrole podvozku vozidla není předpokládána přítomnost osob ve vozidle, tudíž dojde ke snížení užitečné hmotnosti a zvýšení hodnoty světlé výšky.

Tab. 1-12 Přehled světlých výšek automobilů [22, 23, 24, 25]

| Přehled světlých výšek automobilů | |
|--|--------|
| Renault Laguna 3. generace | 120 mm |
| Renault Mégane | 120 mm |
| Volkswagen CC | 124 mm |
| Škoda Superb 2. generace | 125 mm |
| Škoda Fabia 2. generace | 134 mm |
| Škoda Octavia 3. generace | 140 mm |
| Hyundai i40 | 140 mm |
| Volkswagen Golf 7 | 142 mm |
| Volkswagen Sharan | 163 mm |
| Hyundai Santa Fe | 185 mm |
| Volkswagen Multivan | 186 mm |
| Volkswagen Tiguan | 200 mm |
| Volkswagen Transporter | 201 mm |
| Volkswagen Amarok | 203 mm |

1.5 Zhodnocení řešerše

Žádný z uvedených robotických systémů nedisponuje stereovizí ani neumožňuje převoz a vyložení rušičky signálu. Z konzultace problematiky NVS s odborným pyrotechnikem vyvstává požadavek realizovat komunikaci pomocí kabelu při jejím převozu během zásahu. Používaný kabel dosahuje maximální délky 100 m a operátor je bezpečně ukryt. Z přehledu světlých výšek běžně používaných automobilů je známa nejnižší výška podvozku, jejíž hodnota činí 120 mm. Na základě těchto poznatků je stanoven požadavkový list pro návrh robotu. Požadavky jsou v průběhu práce, kdy roste informační určitost, doplňovány.



2 Požadavkový list

Na základě zadání diplomové práce, řešerše problematiky a konzultací s vedoucím práce panem Ing. Zdenkem Bobovským, Ph.D. jsou stanoveny následující požadavky na konstrukční řešení robotu.

Tab. 2-1 Požadavkový list

| Požadavkový list | |
|--|--|
| Použití | Monitoring podvozku automobilu |
| Prostředí použití | Venkovní/vnitřní |
| Rozměry | Max. výška - 100 mm Délku a šířku minimalizovat dle možností |
| Hmotnost | Max. 5 kg včetně rušičky signálu |
| Pohon | Elektrický, 4 ks |
| Rychlost pohybu | Rovina - $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ Nakloněná rovina - $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ |
| Zaručený úhel stoupání | 25° |
| Zdroj napájení | Akumulátor/po kabelu |
| Zaručená doba provozu | > 30 min |
| Komunikace s nadřazenou úrovní | Bezdrátově/po kabelu |
| Zaručený dosah bezdrátové komunikace | 50 m |
| Specifikace kabelu | Délka - 50 m Samostatné konektory pro napájení a komunikaci Zajištění proti uvolnění |
| Kamerový systém pro monitoring podvozku | Kompatibilní s Oculus Rift Přísvit |
| Stupeň krytí | IP44 |
| Možnost převozu a vyložení rušičky signálu | Příruční provedení Max. hmotnost - 0,3 kg |

3 Oculus Rift

Headset Oculus Rift slouží pro práci s virtuální a rozšířenou realitou a své uplatnění nalézá nejen v herním odvětví, ale stále častěji také v průmyslových aplikacích, např. monitoring a vizualizace. V současné době je dostupná druhá vývojářská verze headsetu (Development Kit 2), která je také použita v této práci pro testování. Oculus Rift disponuje zabudovaným OLED displayem Samsung a senzory (gyroskop, akcelerometr, magnetometr). Čočky jsou vyměnitelné a jsou dodávány ve dvou párech pro různé vzdálenosti očí. Pro lepší sledování pohybu je přidána kamera, která snímá NIR LED zabudované v headsetu [26, 28].



Obr. 3-1 Oculus Rift DK2 [27]

Tab. 3-1 Oculus Rift DK2 [26, 28]

| Oculus Rift DK2 | |
|----------------------|---------------------------------------|
| Typ displaye | Samsung OLED |
| Rozlišení displaye | 1920 × 1080 Px (960 × 1080 Px na oko) |
| Obnovovací frekvence | 75/72/60 Hz |
| Zorné pole | 100° diagonálně |
| Hmotnost | 0,44 kg (bez kabelů) |
| Cena | 350 USD (8 561 CZK) |



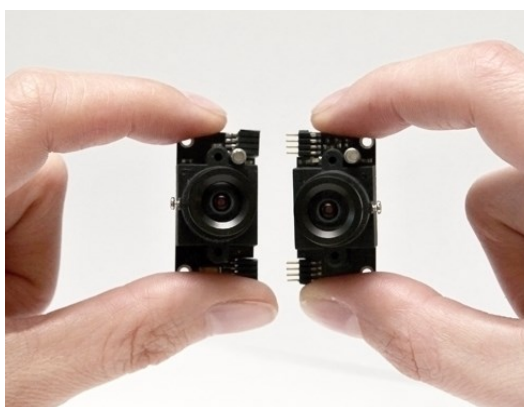
Obr. 3-2 Komponenty headsetu Oculus Rift DK2 [28]

4 Kamerové systémy

Před návrhem je nutné vybrat vhodný kamerový systém, který splňuje požadavky headsetu Oculus Rift, mezi které patří vysoké rozlišení a zorné pole. Kromě toho musí být systém schopný automaticky zaostřovat i na krátkou vzdálenost v desítkách milimetrů. Přesná hodnota je závislá na velikosti kamer a jejich uložení v robotu.

4.1 FPV3DCam

Zařízení The BlackBird sestává ze dvou kamerových modulů, které jsou mezi sebou spojeny dvěma sedmi pinovými konektory. Díky oddělitelnému provedení lze měnit vzdálenost mezi moduly pomocí prodlužovacího kabelu. Kamerový modul je oblíben mimo jiné mezi příznivci FPV létání. Parametry včetně ceny jsou uvedeny v následující tabulce [29].



Obr. 4-1 FPV3DCam The BlackBird [29]

Tab. 4-1 FPV3DCam The BlackBird [29]

| FPV3DCam The BlackBird | |
|--------------------------------|------------------------------|
| Typ senzoru | OmniVision OV7950 |
| Obrazový snímač | 1/4" CMOS |
| Efektivní pixely | 656 × 492 px |
| Citlivost | 3.0 V/Lux-sec @ 5600 K |
| S/N poměr | 48 dB |
| Hmotnost kamery | 21 g |
| Rozměry (d × š × v) | 34 × 34 × 25 mm |
| Interface konektor | MW-3M (deska), MU-3F (kabel) |
| Provozní teplota | -20 až +70 °C |
| Ohnisková vzdálenost objektivu | 3,6 mm |
| Zorný úhel | 54° |

| | |
|--|-------------------------------------|
| Minimální ostřicí vzdálenost | 0 mm |
| Typ závitu | M12 × 1 |
| IR filtr na objektivu | 680 μm |
| Zaostřování | Manuální |
| Napájecí napětí | 5 – 12 V (doporučeno 5 V) |
| Spotřeba proudu | 130 mA |
| Video formát a výstup | NTSC 525/60, 75 Ohm 1V ptp |
| Horizontální rozlišení | 470 TVL |
| Formát 3D | Prokládaný 3D (Field Sequential 3D) |
| Frekvence snímkování | 30 Hz |
| Rozteč kamer ve spojeném stavu | 17,5 mm |
| Rozteč kamer při použití prodlužovacího kabelu | 60 – 2 000 mm (dle délky kabelu) |
| Nastavení konvergence | Manuální |
| Cena | 135 USD (3 302 CZK) |

4.2 Misumi

V portfoliu společnosti Misumi nalezneme velké množství typů kamerových systémů včetně miniaturních, které jsou osazeny buď obrazovým senzorem CCD, anebo CMOS. Senzory se liší v technologii použité pro digitální snímání obrazu. V přehledu jsou uvedeny modely dostupné v českých internetových obchodech.

MO-S5588A-2V (MO-S5788A-2V)

Kamera je dostupná ve dvou provedeních – s barevným, anebo černobílým obrazovým snímačem, jehož odlišné parametry oproti barevnému jsou uvedeny v závorkách.



Obr. 4-2 Misumi MO-S5588A-2V (MO-S5788A-2V) [30]



Tab. 4-2 Misumi MO-S5588A-2V (MO-S5788A-2V) [30]

| Misumi MO-S5588A-2V (MO-S5788A-2V) | |
|---|---------------------------------|
| Obrazový snímač | CCIQ-III 1/4" CMOS |
| TV systém | PAL (CCIR) |
| Efektivní pixely | 648 × 488 px |
| Rozměry pixelu | 6 × 6 μm |
| Synchronizace | Vnitřní |
| Horizontální rozlišení | 480 TVL (550 TVL) |
| S/N poměr | > 47 dB |
| Dynamický rozsah WDR | 63,3 dB |
| Minimální osvětlení | 0,02 Lux, F1,2 (0,006 Lux F1,2) |
| Citlivost | 8,2 V/Lux-sec. |
| Horizontální frekvence | 15,625 kHz |
| Vertikální frekvence | 50 Hz |
| Gamma korekce | 0,45 |
| Video výstup | Kompozitní, 75 Ohm, 1 V ptp |
| Audio výstup | Linkový |
| Objektiv | Super kónický pinhole |
| Zorný úhel | 158,5° |
| Ohnisková vzdálenost objektivu | f = 2,8 mm/F3,9 |
| Minimální ostřicí vzdálenost | 10 mm |
| Typ závitu | M7 × 0,5 |
| Řízení zisku | AGC vícezónové |
| Rozměry (d × š × v) | 8,6 × 8,6 × 11,3 mm |
| Provozní teplota | -10 až +45 °C |
| Napájecí napětí | 5 – 12 V (doporučeno 9V) |
| Spotřeba proudu | 100 mA |
| Cena | 3 990 CZK |

Misumi MO-SL88A-3D



Obr. 4-3 Misumi MO-SL88A-3D [31]

Tab. 4-3 Misumi MO-SL88A-3D [31]

| Misumi MO-SL88A-3D | |
|--------------------------------|----------------------------------|
| Obrazový snímač | Barevný CCIQ-III 1/4" CMOS |
| TV systém | PAL |
| Efektivní pixely | 648 × 488 px |
| Rozměry pixelu | 5,55 × 5,55 μm |
| Synchronizace | Vnitřní |
| Horizontální rozlišení | 400 TVL |
| S/N poměr | > 45,6 dB |
| Dynamický rozsah WDR | 63,5 dB |
| Minimální osvětlení | 0,6 Lux, F1,2 |
| Citlivost | 8,2 V/Lux-sec. |
| Horizontální frekvence | 15,625 kHz |
| Vertikální frekvence | 50 Hz |
| Gamma korekce | 0,45 |
| Video výstup | Kompozitní, 75 Ohm, 1 V ptp |
| Audio výstup | Linkový |
| Objektiv | Super kónický pinhole |
| Zorný úhel | Horizontální 49°, vertikální 38° |
| Ohnisková vzdálenost objektivu | f = 3,9 mm/F2,8 |
| Řízení zisku | AGC vícezónové |
| Rozměry (d × š × v) | 8,5 × 8,5 × 6,2 mm |
| Provozní teplota | -10 až +45 °C |

| | |
|-----------------|-----------|
| Napájecí napětí | 5 V |
| Spotřeba proudu | 100 mA |
| Cena | 3 390 CZK |

4.3 Raspberry Pi

Mezi doplňky pro počítačovou desku Raspberry Pi je možné nalézt kamerový modul, který je dostupný ve dvou variantách. Na obr. 4-4 je uvedena varianta pro použití ve dne, jež má integrovaný IR filtr. Varianta na obr. 4-5 slouží pro použití při slabém osvětlení, nedisponuje tedy IR filtrem. Stabilizace obrazu je samozřejmostí [33].



Obr. 4-4 Raspberry Pi Camera Module [33] Obr. 4-5 Raspberry Pi Camera Module NoIR [33]

Tab. 4-4 Raspberry Pi Camera Module [33]

| Raspberry Pi Camera Module | |
|----------------------------|--------------------------------------|
| Typ senzoru | OmniVision 5647 1/4" |
| Maximální rozlišení | 2592 × 1944 px (5 Mpx) |
| Kvalita videa | 1080p30; 720p60; 640×480p60/90; |
| Rozměry pixelu | 1,4 × 1,4 μm |
| S/N poměr | 36 dB |
| Dynamický rozsah | 68 dB |
| Citlivost | 680 mV/Lux-sec. |
| Zorné pole | Horizontální 53,5°, vertikální 41,4° |
| Ohnisková vzdálenost | 3,6 mm F2,9 |
| Zaostřování | 1 m + |
| Interface konektor | CSI bus |
| Rozměry (d × š × v) | 25 × 20 × 9 mm |
| Hmotnost | 3 g |

| | |
|------------------------------|---------------------------------------|
| Kompatibilní operační systém | Raspbian, OS na bázi Linuxového jádra |
| Cena | 29,95 USD (733 CZK) |

Špionážní kamera disponuje stejným obrazovým senzorem jako výše uvedený kamerový modul. Oproti němu má však menší rozměry a hmotnost, jiné provedení CSI kabelu a vyšší cenu. Rozdílné hodnoty parametrů jsou uvedeny v tab. 4-5 [33].



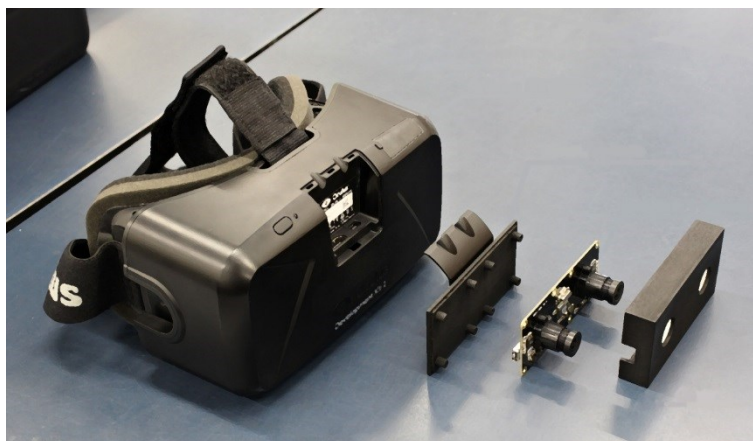
Obr. 4-6 Raspberry Pi Spy Camera [33]

Tab. 4-5 Raspberry Pi Spy Camera [33]

| Raspberry Pi Spy Camera | |
|-------------------------|---------------------|
| Délka kabelu | 289 mm |
| Rozměry (d × š) | 11,3 × 8,5 mm |
| Hmotnost | 1,9 g |
| Cena | 39,95 USD (977 CZK) |

4.4 Ovrvision

Jedná se o stereovizní kamerový modul, který je určen přímo pro použití s Oculus Rift. Jeho primární účel použití je získat kontakt s realitou bez nutnosti manipulace se zařízením. Změna módu se provádí jednoduchým gestem ruky. V současnosti je dostupný pouze typ Ovrvision 1, který je určen pro verzi DK2. V létě 2015 má být představen typ Ovrvision PRO, který bude disponovat lepšími parametry než stávající model. Předpokládaná cena PRO by se měla pohybovat v rozmezí 350 – 400 USD (8 561 – 9 784 CZK) [34].



Obr. 4-7 Ovrvision 1[34]

Tab. 4-6 Ovrvision 1 [34]

| Ovrvision 1 | |
|---|-------------------------------------|
| Typ senzoru | OmniVision 7725 1/4" |
| Maximální rozlišení | 1280 × 480 px (640 × 480 na kameru) |
| Rychlost snímkování | 60 fps |
| Zorné pole | 135° |
| Minimální ostřicí vzdálenost | 80 mm |
| Minimální vzdálenost pro stereovizní vidění | 300 mm |
| Ohnisková vzdálenost | 2,2 mm |
| Optické zkreslení | -30 % |
| Zaostřování | Manuální |
| Interface konektor | USB 2.0 |
| Závit objektivu | M12 × 0,5 |
| Rozměry (d × š × v) | 86 × 36 × 22 mm |
| Hmotnost | 55 g |
| Cena | 159 USD (3 889 CZK) |

4.5 Logitech

Webová kamera Logitech C920 je zde uvedena jako příklad. Uživatelé headsetu Oculus Rift používají právě upravené webové kamery pro realizaci stereovizního vidění. Je možné použití pouze jedné kamery spolu se softwarem pro úpravu obrazu v reálném čase pro 3D vidění (např. Stereoscopic Player). Výhodou je v tomto případě přenos pouze jednoho obrazového výstupu, kdy je jeho zpracování do 3D prováděno až na stanovišti operátora.



Obr. 4-8 Logitech C920 [35]

Tab. 4-7 Logitech C920 [35]

| Logitech C920 | |
|------------------------------|-------------------|
| Typ senzoru | CMOS |
| Objektiv | Carl Zeiss Tessar |
| Maximální rozlišení | 1 920 × 1080 px |
| Rychlost snímkování | 30 fps |
| Minimální ostřicí vzdálenost | 100 mm |
| Zaostřování | Automatické |
| Formát videa | H.264, MJPEG |
| Interface konektor | USB 2.0 |
| Cena | 2 700 CZK |

4.6 Leap Motion

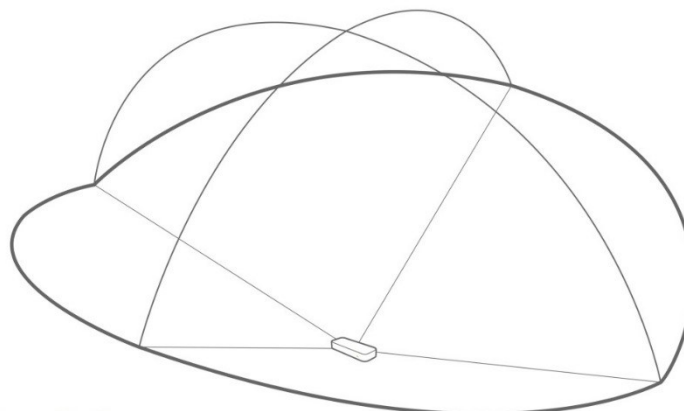
Zařízení Leap Motion snímá pohyb rukou a umožňuje tak interaktivní ovládání a manipulaci s objekty ve virtuální a rozšířené realitě. Programování aplikací je založeno na API s podporou mnoha programovacích jazyků, např. Unity/C#, C++, Java, JavaScript, Python. Ovladač obsahuje dvě IR kamery s vysokou frekvencí snímkování a tři IR LED, které slouží pro detekci pohybu a zároveň jako přísvit. Interakční oblast, ze které vyplývá zorné pole kamer, je znázorněna na obr. 4-10. Po povolení lze získat neupravený obrazový výstup z kamer obsahující naměřené hodnoty IR jasu.



Obr. 4-9 Leap Motion [38]

Tab. 4-8 Leap Motion [36, 37]

| Leap Motion | |
|----------------------|-------------------------------------|
| Rozlišení kamer | 1,3 Mpx |
| Zorné pole | 150° podélný směr, 120° příčný směr |
| Frekvence snímkování | > 200 fps |
| Napájecí napětí | 5 V (USB) |
| Spotřeba proudu | 320 mA |
| Rozměry (d × š × v) | 80 × 30 × 11 mm |
| Hmotnost | 32 g |



Interaction Area
2 feet above the controller, by 2 feet wide on each side
(150° angle), by 2 feet deep on each side (120° angle)

Obr. 4-10 Interakční oblast Leap Motion [36]



Obr. 4-11 Rozebraný Leap Motion [37]

4.7 Výběr kamerového systému

Jediným zařízením, které nejen splňuje, ale i převyšuje požadovaná kritéria headsetu Oculus Rift a zároveň umožňuje automatické ostření i na krátké vzdálenosti, je Leap Motion. Kromě příznivé ceny, rozměrů a použití bez potřeby převodníku pro úpravu signálu je výhodou také to, že je již Katedrou robotiky zakoupen a je možné jej podrobit testování. Z obrázku výše je patrné, že je možné rozměry kamerového systému dále minimalizovat a použít pouze nezbytné nutné prvky.



5 Návrh pohonů

Při návrhu pohonů podvozku je čerpáno z [3]. Proti pohybu podvozku působí síly, které se nazývají jízdní odpory. Patří mezi ně valivý odpor, vzdušný odpor, odpor zrychlení a odpor stoupání.

Valivý odpor – Vzniká deformací povrchu kola a povrchu, po kterém se kolo pohybuje. Plocha, kterou se tyto dva povrchy stýkají, se nazývá stopa. Valivý odpor podvozku O_f je dán součtem valivých odporů jednotlivých kol:

$$O_f = \sum_i O_{fKi} = \sum_i Z_{Ki} \cdot f_{Ki} \quad (5.1)$$

V případě, že všechna kola mají stejnou hodnotu součinitele valivého odporu, pak platí:

$$O_f = f_K \cdot \sum_i Z_{Ki} = f_K \cdot G \cdot \cos \alpha = f_K \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha \quad (5.2)$$

Tab. 5-1 Součinitel valivého odporu f_K [3]

| Povrch | f_K [–] | Povrch | f_K [–] |
|---------------------|---------------|----------------|--------------|
| Asfalt | 0,01 – 0,02 | Travnatý terén | 0,08 – 0,15 |
| Beton | 0,015 – 0,025 | Hluboký písek | 0,15 – 0,30 |
| Dlažba | 0,02 – 0,03 | Čerstvý sníh | 0,20 – 0,30 |
| Polní cesta – suchá | 0,04 – 0,15 | Bahnitá půda | 0,20 – 0,40 |
| Polní cesta – mokrá | 0,08 – 0,20 | Náledí | 0,01 – 0,025 |

Vzdušný odpor – Při pohybu proudí kolem podvozku vzduch, jehož proudnice se za podvozkem neuzavírají, ale nastává víření. Tím vzniká vzdušný odpor. Vzhledem k velikosti podvozku a nízké rychlosti pohybu v porovnání s automobily, je tento odpor při výpočtu zanedbán.

Odpor stoupání – Je určen tíhovou složkou podvozku, která je rovnoběžná s povrchem vozovky. Běžné maximální stoupání silnice je 12 % (s výjimkou vysokohorských silnic). Pro jízdu do svahu platí znaménko +, pro jízdu ze svahu platí znaménko –. Odpor stoupání působí v těžišti vozidla a platí:

$$O_s = \pm G \cdot \sin \alpha = \pm m \cdot g \cdot \sin \alpha \quad (5.3)$$

Místo úhlu stoupání α lze použít sklon stoupání s , pro který platí:

$$s = \frac{h}{l} = \tan \alpha \quad (5.4)$$

Do hodnoty $\alpha = 17^\circ$ ($s = 0,3 = 30\%$) lze použít vztah:

$$O_s = \pm G \cdot s \quad (5.5)$$

Odpor zrychlení – Je setrvačná síla, která působí proti směru zrychlení vozidla. Pro zjednodušení je při výpočtu použit tzv. součinitel vlivu rotačních částí ϑ (1,0 – 1,5). Pak platí:

$$O_z = \vartheta \cdot m \cdot a \quad (5.6)$$

Odpor kabelu – Jedná se o třecí sílu, která působí proti směru pohybu a která vzniká v případě, že je napájení a komunikace realizována pomocí kabelu. Pro výpočet je zvolen součinitel smykového tření f_T pro styčné povrchy pryž-beton.

$$O_k = m_k \cdot g \cdot f_T \quad (5.7)$$

Celkový jízdní odpor je určen součtem jednotlivých jízdních odporů. Celková hnací síla na kolech vozidla, která je potřebná k překonání jízdních odporů, je tedy:

$$F_K = O_f + O_s + O_z + O_k \quad (5.8)$$

Pro hnací sílu na jednom kole pro čtyřkolový podvozek platí:

$$F_{K1} = \frac{F_K}{4} \quad (5.9)$$

Hnací výkon pro jedno kolo podvozku je určen pomocí vztahu:

$$P_{K1} = F_{K1} \cdot v \quad (5.10)$$

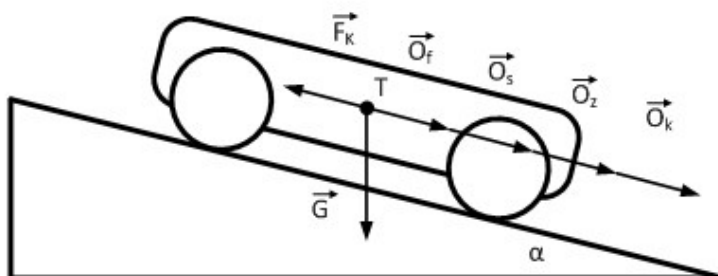
Pro **potřebný krouticí moment** na jednom kole podvozku platí:

$$M_{K1} = F_{K1} \cdot r_K \quad (5.11)$$

Potřebné otáčky kola jsou pak vyjádřeny vztahem:

$$n_K = \frac{60 \cdot v}{2 \cdot \pi \cdot r_K} \quad (5.12)$$

Vektory jednotlivých sil slouží pouze pro znázornění jejich směru, jejich délka není úměrná jejich velikosti.



Obr. 5-1 Schéma působení sil



Výpočet potřebných parametrů je proveden pro čtyřkolový podvozek, kdy jsou všechna kola hnací, a pro čtyři možné situace, ve kterých se může robot během provozu ocitnout. Tyto situace jsou:

- A Rozjezd na rovině
- B Rovnoměrný pohyb po rovině
- C Rozjezd na nakloněné rovině
- D Rovnoměrný pohyb po nakloněné rovině

Tab. 5-2 A – Rozjezd na rovině

| A – Rozjezd na rovině | Značení | Hodnota |
|--|-------------|--|
| Maximální hmotnost robotu včetně rušičky signálu | m | 5 kg |
| Normální tíhové zrychlení | g | $9,80665\text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ |
| Maximální rychlost | v | $1,5\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ |
| Maximální zrychlení | a | $1\text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ |
| Poloměr kola | r_K | $0,05\text{ m}$ |
| Součinitel valivého odporu | f_K | $0,2 [-]$ |
| Součinitel vlivu rotačních částí | ϑ | $1,3 [-]$ |
| Úhel nakloněné roviny | α | 0° |
| Hmotnost kabelu | m_k | 1 kg |
| Součinitel smykového tření | f_T | $0,8 [-]$ |

$$O_f = f_K \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha = 0,2 \cdot 5 \cdot 9,80665 \cdot \cos 0 = 9,81\text{ N} \quad (5.13)$$

$$O_s = m \cdot g \cdot \sin \alpha = 5 \cdot 9,80665 \cdot \sin 0 = 0\text{ N} \quad (5.14)$$

$$O_z = \vartheta \cdot m \cdot a = 1,3 \cdot 5 \cdot 1 = 6,5\text{ N} \quad (5.15)$$

$$O_k = m_k \cdot g \cdot f_T = 1 \cdot 9,80665 \cdot 0,8 = 7,85\text{ N} \quad (5.16)$$

$$F_K = O_f + O_s + O_z + O_k = 9,81 + 0 + 6,5 + 7,85 = 24,16\text{ N} \quad (5.17)$$

$$F_{K1} = \frac{F_K}{4} = \frac{24,16}{4} = 6,04\text{ N} \quad (5.18)$$

$$P_{K1} = F_{K1} \cdot v = 6,04 \cdot 1,5 = 9,06\text{ W} \quad (5.19)$$

$$M_{K1} = F_{K1} \cdot r_K = 6,04 \cdot 0,05 = 0,30\text{ N} \cdot \text{m} \quad (5.20)$$

$$n_K = \frac{60 \cdot v}{2 \cdot \pi \cdot r_K} = \frac{60 \cdot 1,5}{2 \cdot \pi \cdot 0,05} = 287\text{ min}^{-1} \quad (5.21)$$



Tab. 5-3 B - Rovnoměrný pohyb po rovině

| B - Rovnoměrný pohyb po rovině | Značení | Hodnota |
|--|-------------|---|
| Maximální hmotnost robotu včetně rušičky signálu | m | 5 kg |
| Normální tíhové zrychlení | g | $9,80665 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ |
| Maximální rychlost | v | $1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ |
| Maximální zrychlení | a | $0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ |
| Poloměr kola | r_K | $0,05 \text{ m}$ |
| Součinitel valivého odporu | f_K | $0,2 [-]$ |
| Součinitel vlivu rotačních částí | ϑ | $1,3 [-]$ |
| Úhel nakloněné roviny | α | 0° |
| Hmotnost kabelu | m_k | 1 kg |
| Součinitel smykového tření | f_T | $0,8 [-]$ |

$$O_f = f_K \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha = 0,2 \cdot 5 \cdot 9,80665 \cdot \cos 0 = 9,81 \text{ N} \quad (5.22)$$

$$O_s = m \cdot g \cdot \sin \alpha = 5 \cdot 9,80665 \cdot \sin 0 = 0 \text{ N} \quad (5.23)$$

$$O_z = \vartheta \cdot m \cdot a = 1,3 \cdot 5 \cdot 0 = 0 \text{ N} \quad (5.24)$$

$$O_k = m_k \cdot g \cdot f_T = 1 \cdot 9,80665 \cdot 0,8 = 7,85 \text{ N} \quad (5.25)$$

$$F_K = O_f + O_s + O_z + O_k = 9,81 + 0 + 0 + 7,85 = 17,66 \text{ N} \quad (5.26)$$

$$F_{K1} = \frac{F_K}{4} = \frac{17,66}{4} = 4,42 \text{ N} \quad (5.27)$$

$$P_{K1} = F_{K1} \cdot v = 4,42 \cdot 1,5 = 6,63 \text{ W} \quad (5.28)$$

$$M_{K1} = F_{K1} \cdot r_K = 4,42 \cdot 0,05 = 0,22 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (5.29)$$

$$n_K = \frac{60 \cdot v}{2 \cdot \pi \cdot r_K} = \frac{60 \cdot 1,5}{2 \cdot \pi \cdot 0,05} = 287 \text{ min}^{-1} \quad (5.30)$$



Tab. 5-4 C – Rozjezd na nakloněné rovině

| C – Rozjezd na nakloněné rovině | Značení | Hodnota |
|--|-------------|--|
| Maximální hmotnost robotu včetně rušičky signálu | m | 5 kg |
| Normální tíhové zrychlení | g | $9,80665\text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ |
| Maximální rychlost | v | $1\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ |
| Maximální zrychlení | a | $0,5\text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ |
| Poloměr kola | r_K | $0,05\text{ m}$ |
| Součinitel valivého odporu | f_K | $0,2\text{ [-]}$ |
| Součinitel vlivu rotačních částí | ϑ | $1,3\text{ [-]}$ |
| Úhel nakloněné roviny | α | 25° |
| Hmotnost kabelu | m_k | 1 kg |
| Součinitel smykového tření | f_T | $0,8\text{ [-]}$ |

$$O_f = f_K \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha = 0,2 \cdot 5 \cdot 9,80665 \cdot \cos 25 = 8,89\text{ N} \quad (5.31)$$

$$O_s = m \cdot g \cdot \sin \alpha = 5 \cdot 9,80665 \cdot \sin 25 = 20,72\text{ N} \quad (5.32)$$

$$O_z = \vartheta \cdot m \cdot a = 1,3 \cdot 5 \cdot 0,5 = 3,25\text{ N} \quad (5.33)$$

$$O_k = m_k \cdot g \cdot f_T = 1 \cdot 9,80665 \cdot 0,8 = 7,85\text{ N} \quad (5.34)$$

$$F_K = O_f + O_s + O_z + O_k = 8,89 + 20,72 + 3,25 + 7,85 = 40,71\text{ N} \quad (5.35)$$

$$F_{K1} = \frac{F_K}{4} = \frac{40,71}{4} = 10,18\text{ N} \quad (5.36)$$

$$P_{K1} = F_{K1} \cdot v = 10,18 \cdot 1 = 10,18\text{ W} \quad (5.37)$$

$$M_{K1} = F_{K1} \cdot r_K = 10,18 \cdot 0,05 = 0,51\text{ N} \cdot \text{m} \quad (5.38)$$

$$n_K = \frac{60 \cdot v}{2 \cdot \pi \cdot r_K} = \frac{60 \cdot 1}{2 \cdot \pi \cdot 0,05} = 191\text{ min}^{-1} \quad (5.39)$$



Tab. 5-5 D - Rovnoměrný pohyb po nakloněné rovině

| D - Rovnoměrný pohyb po nakloněné rovině | Značení | Hodnota |
|--|-------------|---|
| Maximální hmotnost robotu včetně rušičky signálu | m | 5 kg |
| Normální tíhové zrychlení | g | $9,80665 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ |
| Maximální rychlost | v | $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ |
| Maximální zrychlení | a | $0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ |
| Poloměr kola | r_K | $0,05 \text{ m}$ |
| Součinitel valivého odporu | f_K | $0,2 [-]$ |
| Součinitel vlivu rotačních částí | ϑ | $1,3 [-]$ |
| Úhel nakloněné roviny | α | 25° |
| Hmotnost kabelu | m_k | 1 kg |
| Součinitel smykového tření | f_T | $0,8 [-]$ |

$$O_f = f_K \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha = 0,2 \cdot 5 \cdot 9,80665 \cdot \cos 25 = 8,89 \text{ N} \quad (5.40)$$

$$O_s = m \cdot g \cdot \sin \alpha = 5 \cdot 9,80665 \cdot \sin 25 = 20,72 \text{ N} \quad (5.41)$$

$$O_z = \vartheta \cdot m \cdot a = 1,3 \cdot 5 \cdot 0 = 0 \text{ N} \quad (5.42)$$

$$O_k = m_k \cdot g \cdot f_T = 1 \cdot 9,80665 \cdot 0,8 = 7,85 \text{ N} \quad (5.43)$$

$$F_K = O_f + O_s + O_z + O_k = 8,89 + 20,72 + 0 + 7,85 = 37,46 \text{ N} \quad (5.44)$$

$$F_{K1} = \frac{F_K}{4} = \frac{37,46}{4} = 9,37 \text{ N} \quad (5.45)$$

$$P_{K1} = F_{K1} \cdot v = 9,37 \cdot 1 = 9,37 \text{ W} \quad (5.46)$$

$$M_{K1} = F_{K1} \cdot r_K = 9,37 \cdot 0,05 = 0,47 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (5.47)$$

$$n_K = \frac{60 \cdot v}{2 \cdot \pi \cdot r_K} = \frac{60 \cdot 1}{2 \cdot \pi \cdot 0,05} = 191 \text{ min}^{-1} \quad (5.48)$$



Tab. 5-6 Výstupní parametry pro volbu

| Výstupní parametry pro návrh | Hnací síla F_{K1} [N] | Hnací výkon P_{K1} [W] | Krouticí moment M_{K1} [N·m] | Otáčky kola n_K [min ⁻¹] |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|---|
| A | 6,04 | 9,06 | 0,30 | 287 |
| B | 4,42 | 6,63 | 0,22 | 287 |
| C | 10,18 | 10,18 | 0,51 | 191 |
| D | 9,37 | 9,37 | 0,47 | 191 |

5.1 Volba pohonu

Tab. 5-7 Kombinace vhodných pohonů

| Kombinace | Motor | Převodovka | Celková délka [mm] | Celková hmotnost [kg] |
|-----------|---------------------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | Maxon RE 25 20 W 12 V | GP 32 A 28:1 | 79,3 | 0,27 |
| 2 | Maxon RE 25 20 W 12 V | GP 26 A 27:1 | 75,9 | 0,187 |
| 3 | Maxon EC-max 22 25 W 12 V | GP 32 A 28:1 | 84,9 | 0,27 |
| 4 | Maxon EC-max 22 25 W 12 V | GP 22 HP 29:1 | 80,8 | 0,174 |
| 5 | Maxon EC 45 flat 30 W 12 V | GS 45 A 9,3:1 | 39,9 | 0,295 |

Kromě potřebných výkonnostních parametrů hraje při výběru pohonu významnou roli jeho celková délka, která je ve snaze minimalizovat rozměry robotu klíčová. Vzhledem ke skutečnosti, že riziko zničení robotu je vysoké a může se tedy jednat o spotřební produkt, je nejprve uvažováno použití méně nákladných pohonů. Ty však nevyhovují při potřebných výkonnostních parametrech z hlediska rozměrů ani hmotnosti. Proto je na základě návrhových výpočtů a celkové délky zvolen motor Maxon EC 45 flat v kombinaci s převodovkou Maxon GS 45 A. Při výběru je upřednostněna celková délka nad hmotností. U motoru je uvažováno využití přetížitelnosti v kritických situacích pro dosažení potřebných parametrů.



Obr. 5-2 Motor Maxon EC 45 flat [39]

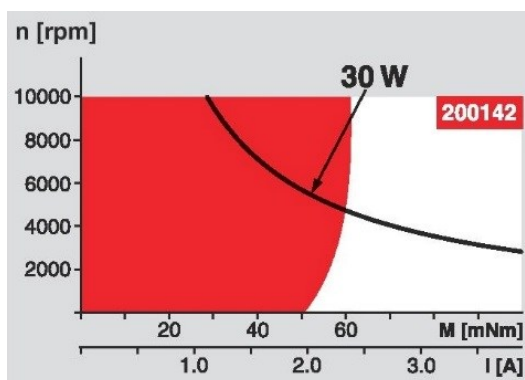


Obr. 5-3 Převodovka Maxon GS 45 A [39]

Tab. 5-8 Zvolený pohon [39]

| Maxon EC 45 flat | |
|--|-------------------------|
| Výkon | 30 W |
| Nominální napájecí napětí | 12 V |
| Nominální otáčky | 2 940 min ⁻¹ |
| Nominální krouticí moment | 55 mN·m |
| Nominální proud | 2,02 A |
| Hmotnost | 75 g |
| Maxon GS 45 A | |
| Převodový poměr | 9.3:1 |
| Max. kontinuální (špičkový) krouticí moment | 0,5 N·m (0,75 N·m) |
| Max. kontinuální (špičkový) přenositelný výkon | 45 W (67 W) |
| Max. účinnost | 87 % |
| Hmotnost | 220 g |
| Celková délka pohonu | 39,9 mm |
| Celková hmotnost pohonu | 295 g |

Červená znázorňuje oblast nepřetržitého provozu, bílá pak provoz, kdy je možné motor krátkodobě přetížit.



Obr. 5-4 Charakteristika motoru Maxon EC 45 flat [39]

Tab. 5-9 Parametry zvoleného pohonu [39]

| Parametry zvoleného pohonu | Značení | Hodnota |
|----------------------------------|-------------|-------------------------|
| Výkon motoru | P_m | 30 W |
| Nominální krouticí moment motoru | M_m | 0,0555 N · m |
| Nominální otáčky motoru | n_m | 2 940 min ⁻¹ |
| Převodový poměr | $i_{př}$ | 9,3 [–] |
| Účinnost převodovky | $\eta_{př}$ | 0,87 [–] |

Přenesený výkon na výstup z převodovky je dán vztahem:

$$P_{př} = P_m \cdot \eta_{př} = 30 \cdot 0,87 = 26,1 \text{ W} \quad (5.49)$$

Pro **krouticí moment** na výstupu z převodovky platí:

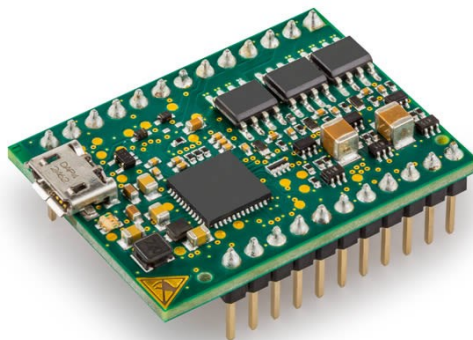
$$M_{př} = M_m \cdot i_{př} \cdot \eta_{př} = 0,0555 \cdot 9,3 \cdot 0,87 = 0,45 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (5.50)$$

Výstupní otáčky jsou určeny vztahem:

$$n_{př} = \frac{n_m}{i_{př}} = \frac{2\,940}{9,3} = 316 \text{ min}^{-1} \quad (5.51)$$

5.2 Řízení

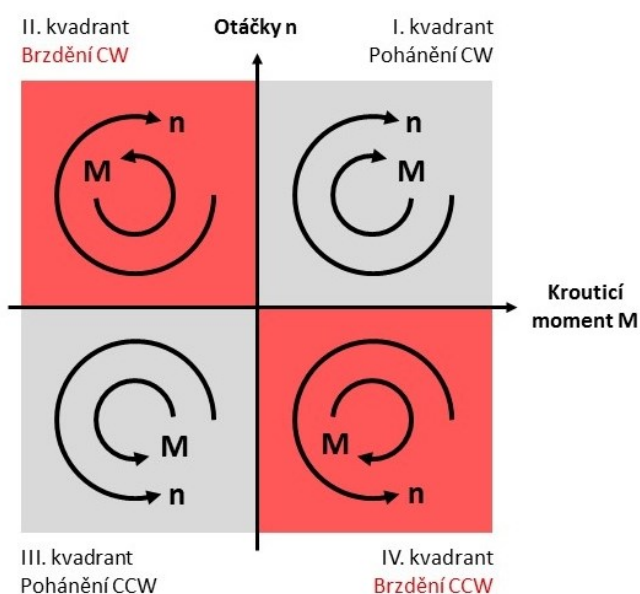
Pro diferenční řízení robotu jsou použity moduly Maxon ESCON 24/2 umožňující čtyřkvadrantní rychlostní řízení. Analogovým signálem je řízena rychlost a směr pohybu, digitálním signálem je ovládáno povolení, případně zastavení robotu [39].



Obr. 5-5 Řídicí modul Maxon ESCON 24/2 4-Q [39]

Tab. 5-10 Řídicí modul Maxon ESCON 24/2 4-Q [39]

| Maxon ESCON 24/2 4-Q | |
|-----------------------------------|-----------|
| EC motory do výkonu | 48 W |
| Provozní napětí | 10 – 24 V |
| Max. kontinuální (špičkový) proud | 2 A (6 A) |
| Rozhraní | USB 2.0 |
| Hmotnost | 7 g |



Obr. 5-6 Kvadranty řízení [39]

U 1-Q řízení (I. a III. kvadrant) je změna směru otáčení ovládána digitálním signálem a brzdění je neřízené, zatímco u 4-Q je brzdění motoru řízeno v obou směrech otáčení. Během brzdění dochází k akumulaci a následnému vracení brzdné energie, která může být pohlcena řídicí jednotkou nebo je dodávána zpět do zdroje napájení, kdy dochází ke zvyšování jeho napětí (kapacitance). V případě překročení kritické hodnoty může dojít k poškození řídicí jednotky a akumulátoru. Opatření, která doporučuje přímo Maxon Motor, jsou [39]:

1. Snížení hodnoty akcelerace/decelerace
2. Přidání elektrolytického kondenzátoru
3. Použití zkratového regulátoru sestávajícího z kondenzátoru a rezistoru, na kterém je přebytečný výkon proměněn v tepelnou energii

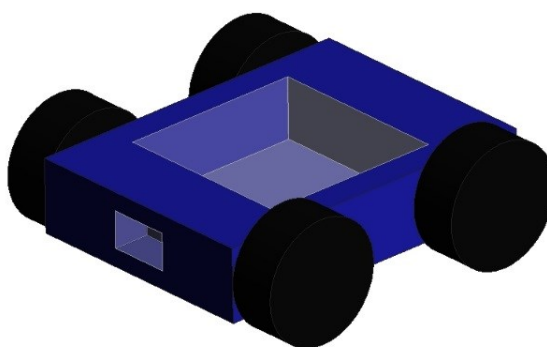
Po realizaci je nutné tuto skutečnost ověřit a v případě nutnosti podniknout opatření 1. nebo 2., aby nedošlo k poškození komponent. 3. opatření není proveditelné kvůli relativně velkým rozměrům modulů DSR a jejich množství, kdy je potřeba pro každou řídicí jednotku jeden modul.

6 Varianty řešení

Návrh variant zahrnuje pouze možnosti uložení kamerových systémů v rámu robotu. V této fázi není uvažováno použití konkrétních kamer.

6.1 Varianta A

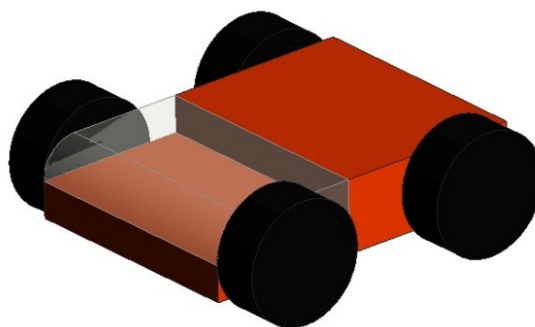
Varianta A využívá celkem dva kamerové moduly. Stereovizní modul je umístěn ve středu rámu podvozku a disponuje dvěma stupni volnosti – rotace a naklápění. Uložení kamer je pro maximalizování záběru kamer uloženo co nejnižže v rámu. Přední modul je osazen pouze jednou kamerou a slouží pro pojezd robotu.



Obr. 6-1 Varianta A

6.2 Varianta B

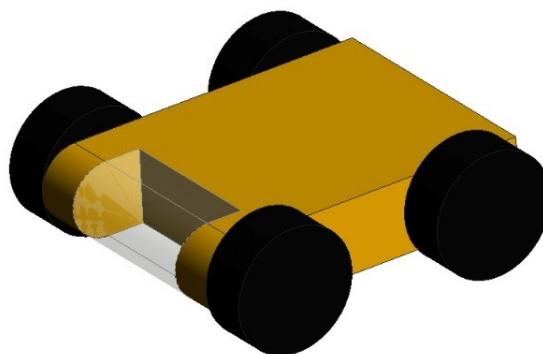
Kamerový modul varianty B slouží pro monitoring podvozku automobilu i pro pojezd. Opět jsou použity dva stupně volnosti jako u předchozí varianty. Vzhledem k prostorové náročnosti kamerového modulu je uvažováno použití pouze dvou pohonů a synchronního řemenu pro přenos pohybu.



Obr. 6-2 Varianta B

6.3 Varianta C

Varianta C je osazena jedním kamerovým modulem, který je umístěn v přední části podvozku. Modul díky naklápění slouží pro pojezd, monitoring podvozku automobilu a zároveň pro snímání prostoru pod robotem.



Obr. 6-3 Varianta C

6.4 Výběr varianty řešení

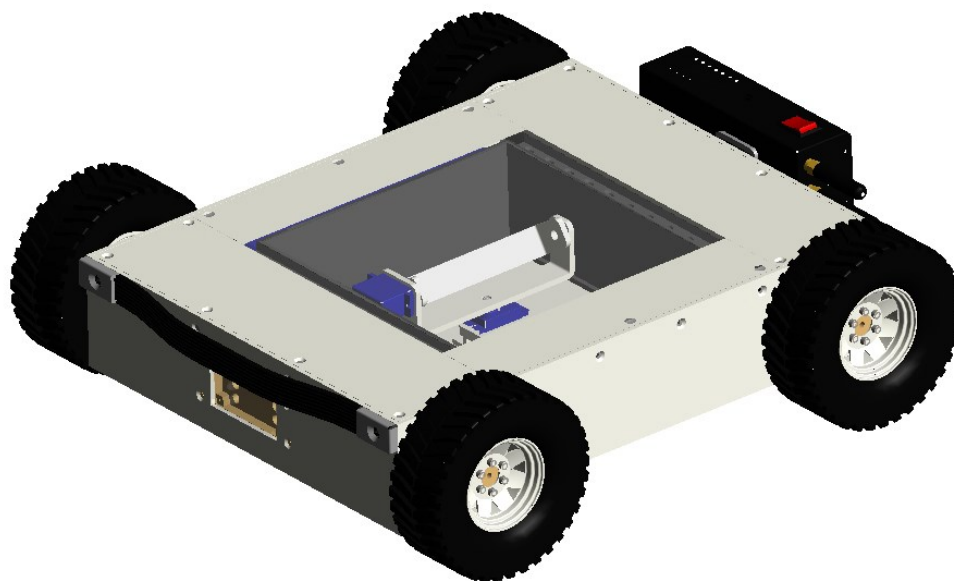
Vzhledem k primárnímu využití robotu hraje klíčovou roli maximální záběr kamerového systému. Na základě tohoto kritéria je pro návrh konstrukčního řešení vybrána varianta A, která využívá dva samostatné kamerové moduly. Díky tomu je možné modul osazený stereovizí optimalizovat pro vykonávanou úlohu beze ztráty funkčnosti.

7 Návrh konstrukčního řešení

Konstrukční návrh robotu je proveden formou jednotlivých stádií, kdy s rostoucí informační určitostí roste i přesnost modelu. Každé stádium je popsáno, zhodnoceno a na základě toho jsou provedeny vhodné úpravy. Při návrhu konstrukce robotu je usilováno o minimalizaci rozměrů a hmotnosti na nejnížší přípustnou mez spolu s maximálním využitím vnitřního prostoru. Proto spolu s požadavkem na použití čtyř pohonů pro každé kolo pro diferenční řízení podvozku a zajištění vysoké manévrovatelnosti nejsou použity další prvky pro přenos pohybu a je uvažováno osazení přírub kol přímo na výstupní hřídele převodovek.

Rozměry rámu jsou měřeny mezi vnějšími stranami jednotlivých bloků. V celkové délce nejsou zahrnuty délky antén rušičky, neboť se mohou lišit dle použitého typu. Měření celkové délky s kabelem je vztaženo k napájecímu konektoru, který je pevnou součástí robotu. Rozchod kol je stejný v přední i zadní části. Vlivem deformace pneumatik dojde ke snížení světlé výšky, proto je uvedená hodnota brána jako teoretická. Tato skutečnost ovlivní i vzdálenost kamerového systému od podvozku. Při měření minimální vzdálenosti je uvažováno 90° naklonění modulu a světlá výška podvozku 100 mm.

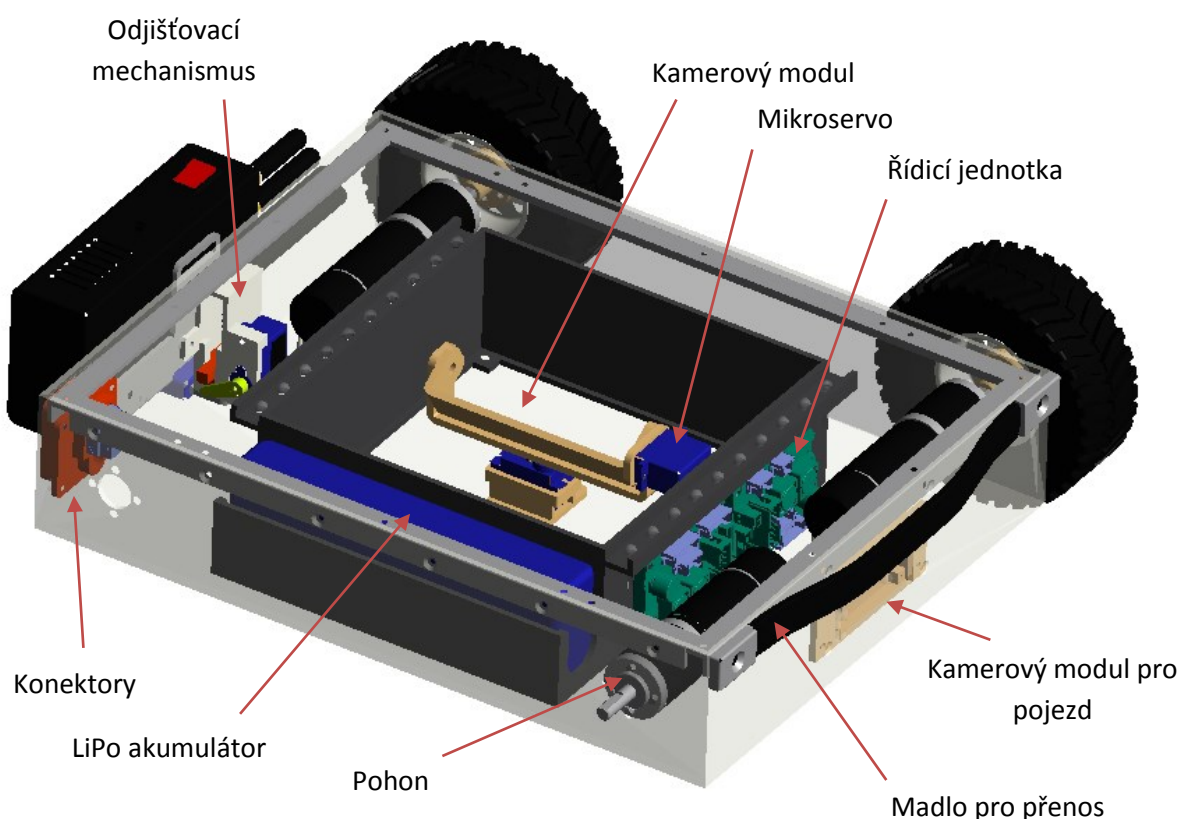
7.1 1. Stádium návrhu



Obr. 7-1 Robot – 1. Stádium

První návrh řešení je proveden v době, kdy nejsou ještě známy všechny potřebné komponenty. Rám podvozku je tvořen svařencem z plechů. Kola jsou pomocí příruby napřímo osazena na výstupní hřídel převodovky ve snaze minimalizovat celkovou šířku robotu. Pohon je tvořen kombinací motoru Maxon RE 25 20 W spolu s převodovkou Maxon GP 26 A a enkodérem Maxon MR. Kamerový modul je navržen jako univerzální a je umístěn ve středu podvozku. Pro zajištění rotace a naklápění jsou použita dvě mikroserva. V této fázi návrhu není známo možné použití zařízení Leap Motion jako kamerového systému. V přední části se nachází kamera pro pojezd, která je doplněna o přisvit, a

madlo pro přenos robotu. Uchycení rušičky signálu včetně odjišťovacího mechanismu a konektorů jsou situovány v zadní části.



Obr. 7-2 Robot – 1. Stádium

Tab. 7-1 Robot – 1. Stádium

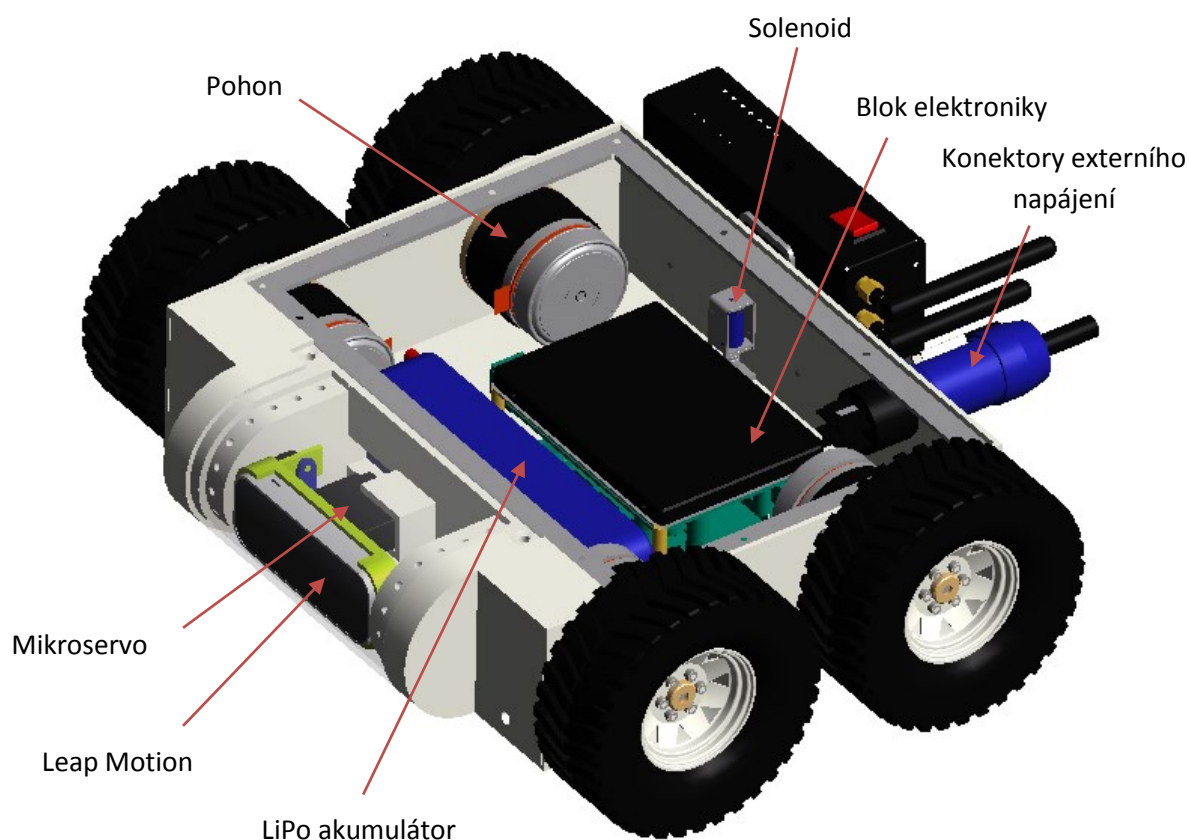
| 1. Stádium návrhu | |
|-----------------------------|-------------------|
| Rozměry rámu (d × š × v) | 300 × 235 × 60 mm |
| Celkové rozměry (d × š × v) | 339 × 317 × 96 mm |

Zhodnocení 1. Stádia

Použití kombinace pohonu se ukazuje jako nevhodné pro svou celkovou délku. Řešení kamerového modulu vytváří mnoho nevyužitelného prostoru uvnitř podvozku a kvůli jeho umístění je nutné použití přídavné kamery pro pojezd. Odjišťovací mechanismus rušičky signálu je příliš složitý. Uložení akumulátoru v boční části není vhodné z hlediska rozložení zatížení podvozku.

7.2 2. Stádium návrhu

V tomto stádiu jsou již vybrány téměř všechny potřebné komponenty a je řešen způsob jejich uložení uvnitř podvozku. Rám je navržen opět jako svařenec z plechů. Pro přední blok je vzhledem k jeho tvarové složitosti uvažováno použití technologie FDM. Stavebním materiálem, který tato technologie používá, je polykarbonát. Jako pohon je již použita kombinace motoru Maxon EC 45 flat a převodovka Maxon GS 45 A. Kamerový systém Leap Motion je uložen v kluzných pouzdrech. Naklápění je realizováno mikroservem. Ploché části předního bloku jsou připraveny pro připojení antén. Akumulátor je uložen mezi předními pohony. Řídící počítač spolu s media konvertorem a SSD tvoří jeden blok. Komponenty jsou upevněny pomocí šroubů a distančních sloupků s vnitřním závitem. Mechanismus zajištění rušičky je nahrazen solenoidem. Přímé antény rušičky signálu jsou nahrazeny kloubovými. Rozvor kol je snížen na nejnižší přípustnou mez, kde je zahrnuta i deformace pneumatik. Výhodou tohoto řešení je dobré kopírování povrchu vozovky při pohybu.



Obr. 7-3 Robot – 2. Stádium

Tab. 7-2 Robot – 2. Stádium

| 2. Stádium návrhu | |
|---|-------------------|
| Rozměry rámu (d × š × v) | 220 × 224 × 60 mm |
| Celkové rozměry bez kabelu (d × š × v) | 241 × 302 × 96 mm |
| Celkové rozměry s kabelem (d × š × v) | 274 × 302 × 96 mm |
| Rozvor | 110 mm |
| Rozchod | 266 mm |
| Teoretická světlná výška | 18 mm |
| Min. vzdálenost kamerového systému od podvozku (vztaženo ke krycímu sklu) | 29,4 mm |

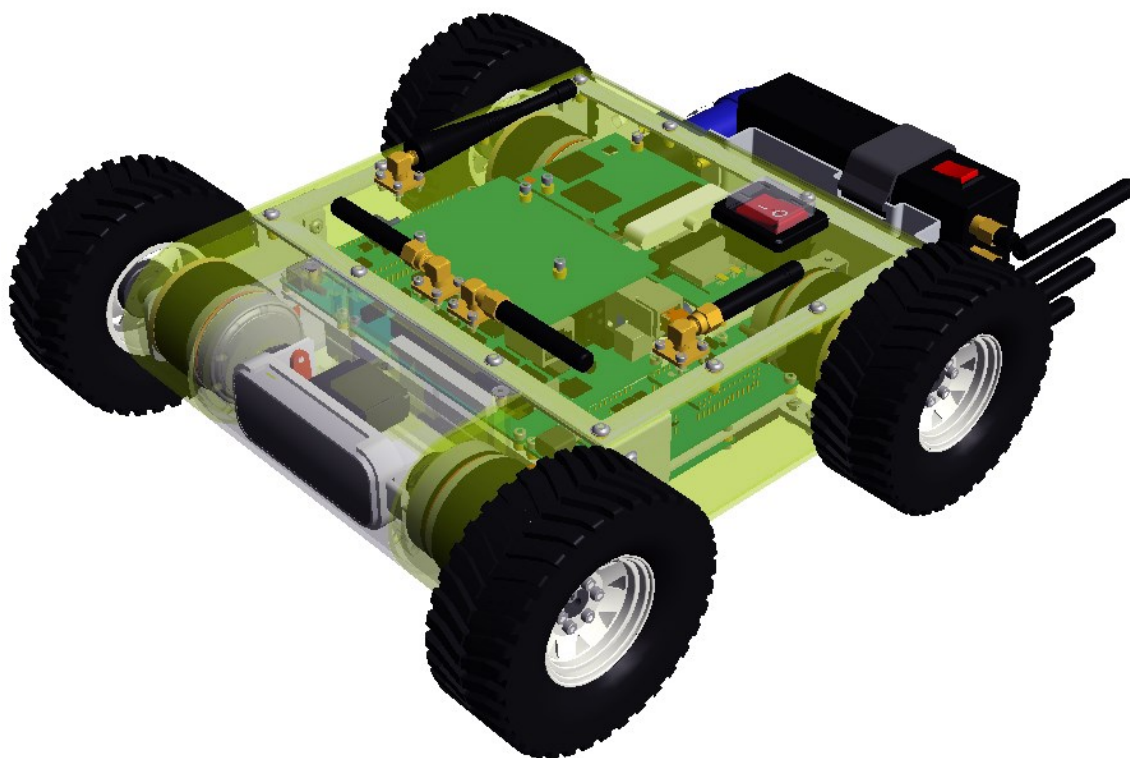
Zhodnocení 2. Stádia

Použití akumulátoru jako jednoho celku je nevhodné, je proto dále rozdělen na jednotlivé články. Díky tomu je možné lépe využít vnitřní prostor podvozku, ale také vhodně rozložit zatížení a tím ovlivnit polohu těžiště. Uložení předních pohonů snižuje možnosti využití prostoru, jsou proto dále uloženy v předním bloku. Antény jsou z předních bloků přemístěny na horní blok. Umístění konektorů a zajištění rušičky signálu je prohozeno za účelem snížení celkové šířky. SSD je zbaven krytování.

7.3 3. Stádium návrhu

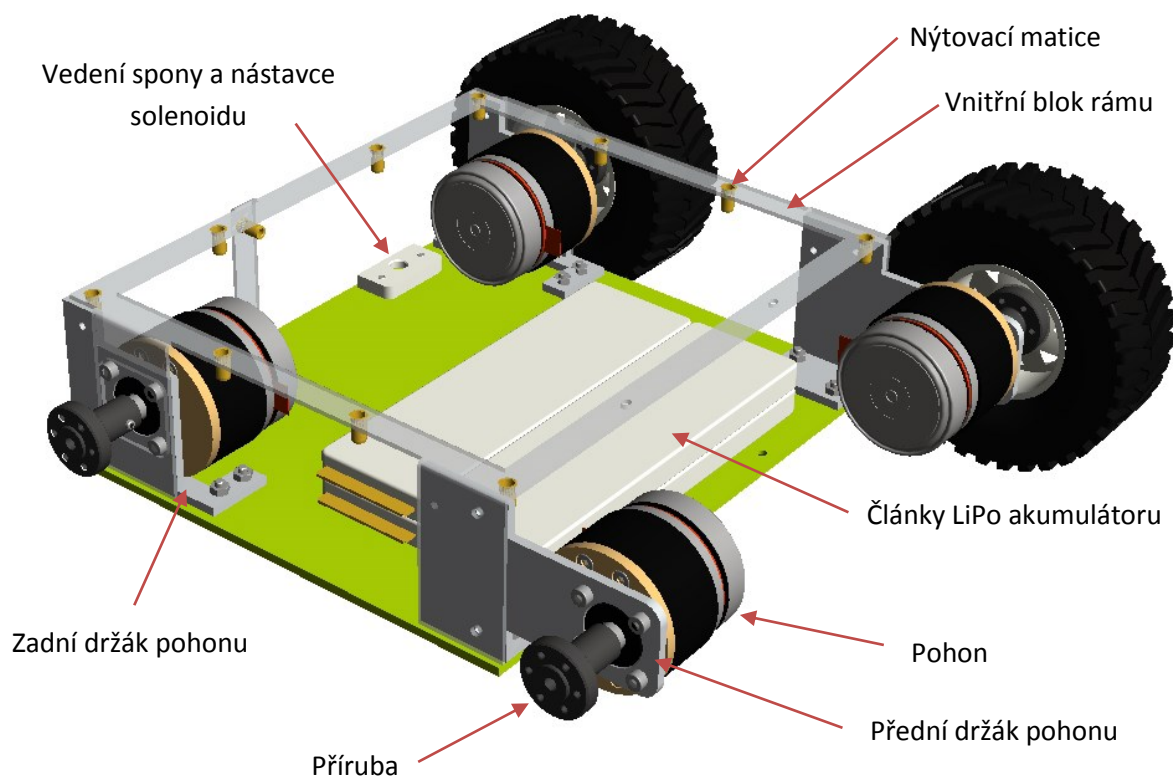


Obr. 7-4 Robot – 3. Stádium



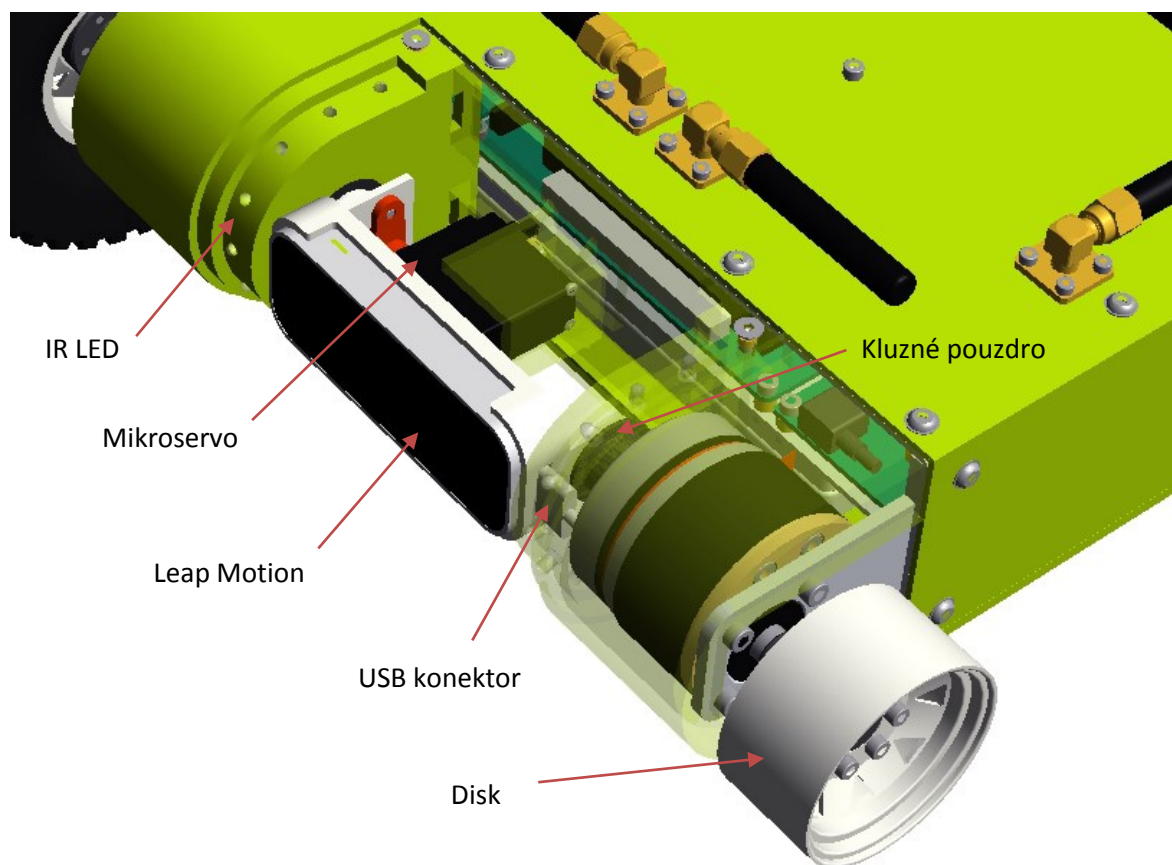
Obr. 7-5 Robot – 3. Stádium

Podvozek sestává z jednotlivých bloků. Ke spodního bloku jsou uchyceny pohony pomocí držáků. Jako spojovací materiál jsou použity šrouby se zápusťnou hlavou, aby nedošlo ke snížení světlé výšky podvozku. Středová osa pohonu je totožná s osou předního bloku. Pohon je orientován tak, aby asymetricky vyvedená hřídel převodovky byla vždy co nejblíže okraji rámu. Držáky slouží zároveň pro uchycení bočního krytování včetně nosné montážní desky, která je osazena elektronikou. Distanční sloupky přispívají k lepšímu chlazení komponent. Díky vnitřnímu závitu na obou stranách a použití dvou šroubů, zůstanou součásti nosné desky i po demontáži komponent. Kola jsou uchycena pomocí přírub a stavěcích šroubů. Mezi podvozkem a pneumatikou je ponechána rezerva 5 mm.



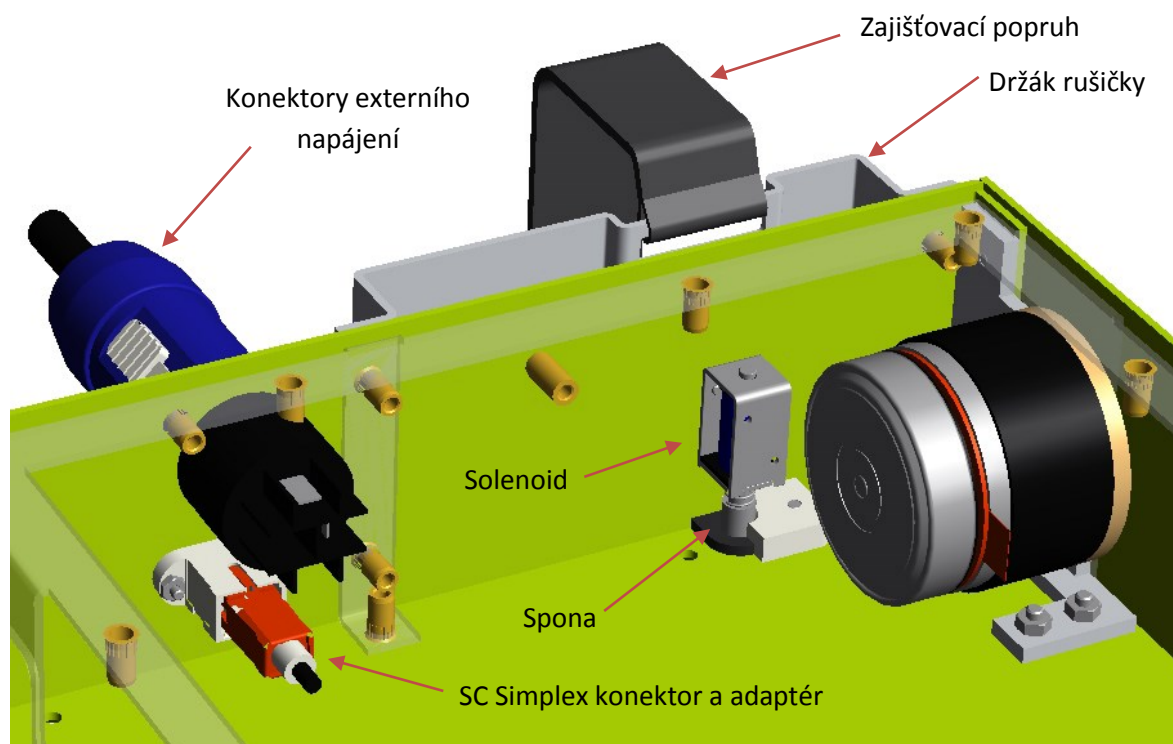
Obr. 7-6 Robot – 3. Stádium – Nosný rám

Přední blok je tvořen dvěma částmi, ve kterých je uložen pomocí kluzných pouzder kamerový modul. Drážka v levé části slouží pro připojení a volný pohyb konektoru během naklápění. Pro naklápění je použito digitální mikroservo s oboustranným pákovým nástavcem. Po stranách je umístěno celkem 18 IR LED, 9 na každé straně, pro pokrytí celého rozsahu naklápění kamerového modulu. Středová část je chráněna průhledným krytem. Aby nedocházelo k praskání materiálu, jsou použity závitové vložky nevyžadující speciální druh montáže.



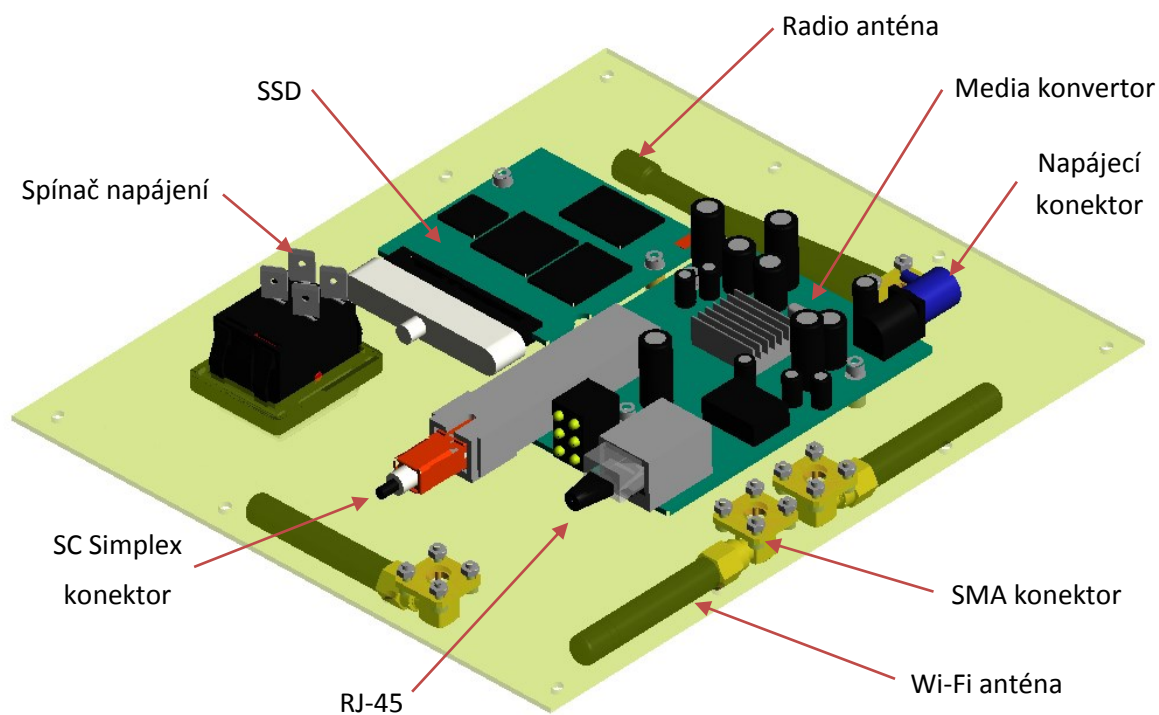
Obr. 7-7 Robot – 3. Stádium – Přední blok

Na zadním bloku se nachází uchycení rušičky signálu spolu s odjišťovacím mechanismem a konektory pro externí napájení a komunikaci po kabelu. Mechanismus odjištění rušičky signálu sestává ze spony a krytky, které jsou pomocí elastického pryžového popruhu připevněny k držáku. Spona je zasunuta do drážky ve vedení, kde je zajištěna nástavcem solenoidu. Při aktivaci solenoidu dojde k uvolnění spony a vyložení rušičky na požadovaném místě. Dosedací plocha držáku je tvarovaná tak, aby těžiště rušičky leželo mimo tuto plochu. Při odjištění dojde ke ztrátě stability. Pro převoz je uvažováno použití příruční rušičky signálu malých rozměrů a nahrazení pevných antén anténami s otočným kloubem.

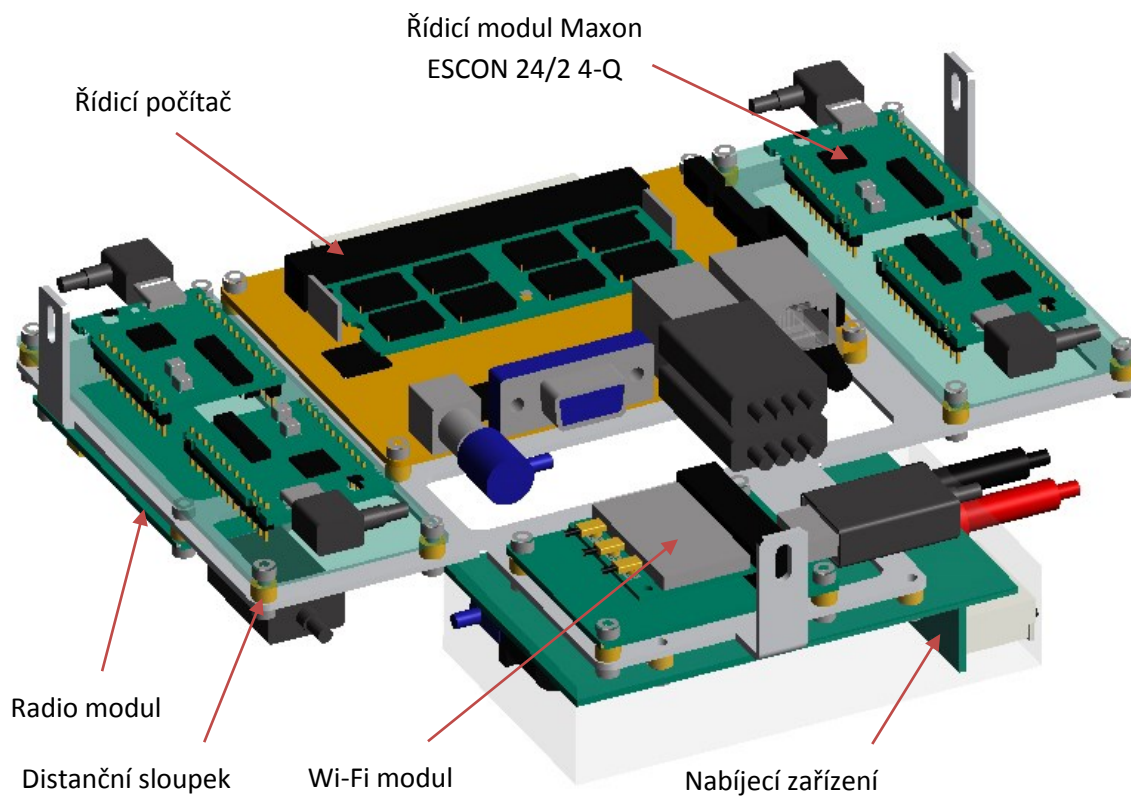


Obr. 7-8 Robot – 3. Stádium – Zadní blok

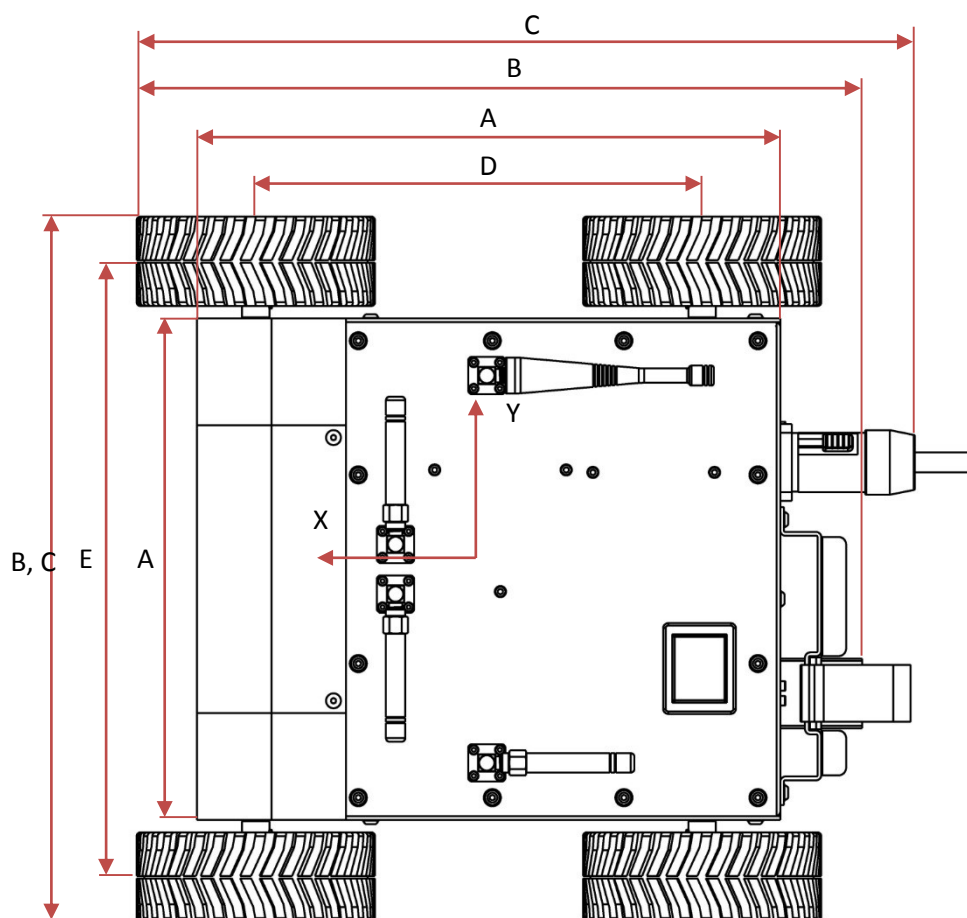
Vnitřní blok slouží pro vymezení postranních vŕůl a pro montáž horního bloku. Pro vytvoření kvalitního závitu pro uchycení horního bloku jsou použity nýťovací matice. Horní blok je osazen SMA konektory spolu s anténami, spínačem napájení, media konvertorem a SSD. Antény jsou orientovány tak, aby pokryly co největší oblast okolí robotu.



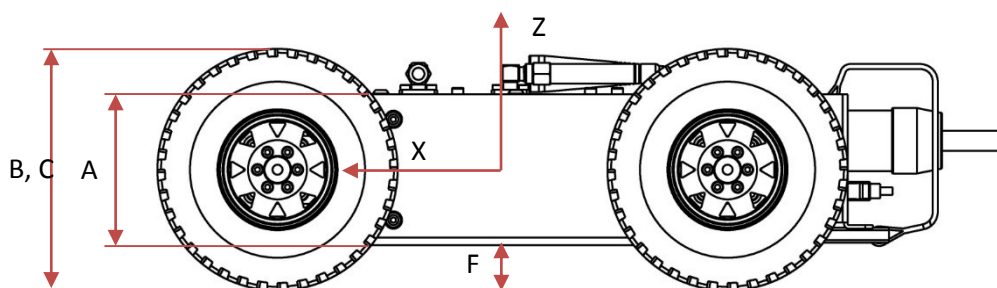
Obr. 7-9 Robot – 3. Stádium – Horní blok



Obr. 7-10 Robot – 3. Stádium – Montážní deska s elektronikou



Obr. 7-11 Rozměry – 3. Stádium



Obr. 7-12 Rozměry – 3. Stádium

Tab. 7-3 Robot – 3. Stádium

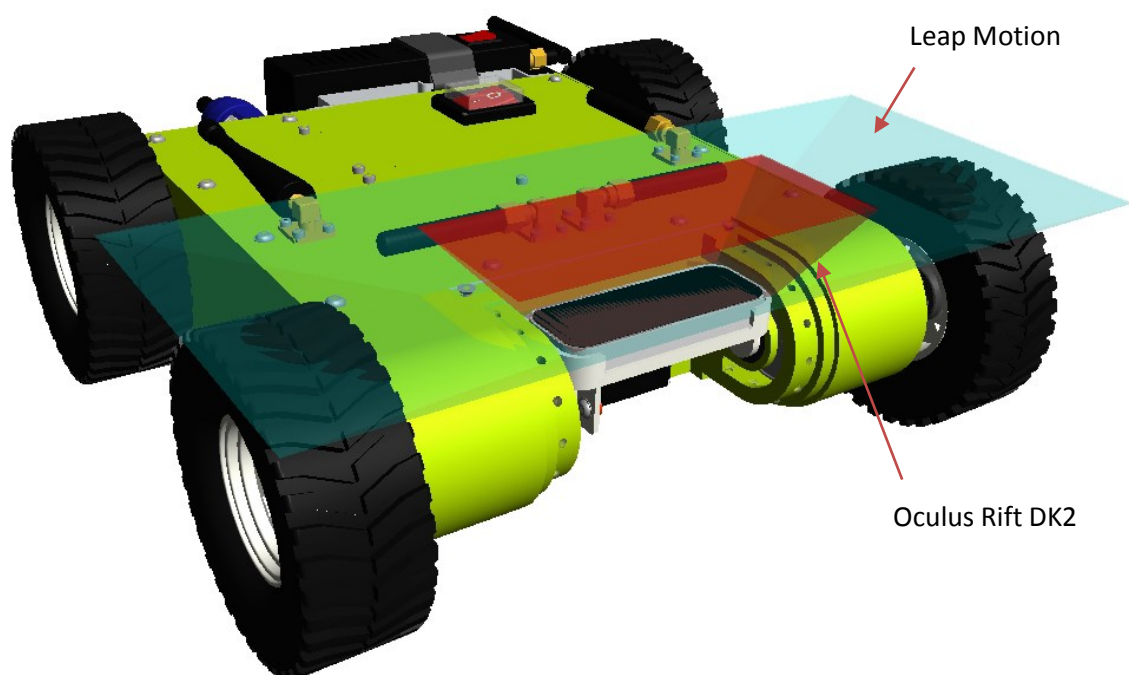
| 3. Stádium návrhu | |
|---|---------------------|
| A Rozměry rámu (d × š × v) | 235 × 202 × 60 mm |
| B Celkové rozměry bez kabelu (d × š × v) | 292,3 × 284 × 96 mm |
| C Celkové rozměry s kabelem (d × š × v) | 313,5 × 284 × 96 mm |
| D Rozvor | 179,8 mm |
| E Rozchod | 248 mm |
| F Teoretická světlá výška | 18 mm |
| Min. vzdálenost kamerového systému od podvozku (vztaženo ke krycímu sklu) | 29,4 mm |
| Hmotnost bez rušičky signálu | 3,9 kg |
| Hmotnost s rušičkou signálu | 4,2 kg |

Souřadnice těžiště podvozku jsou vztaženy k souřadnému systému, který je umístěn ve středu rámu robotu.

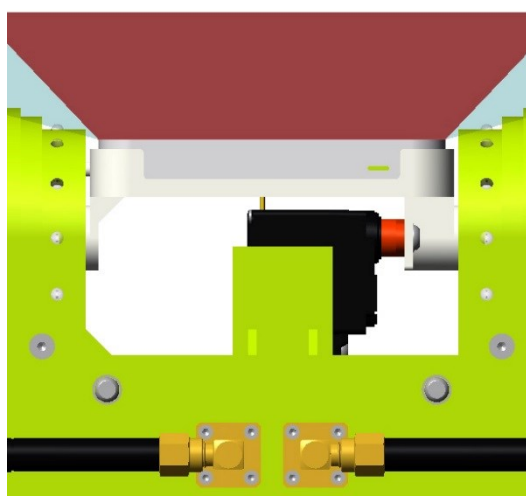
Tab. 7-4 Souřadnice těžiště – 3. Stádium

| Souřadnice těžiště | Podvozek bez rušičky signálu | Podvozek s rušičkou signálu |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| X [mm] | -4,30 | -14,75 |
| Y [mm] | 0,10 | -2,71 |
| Z [mm] | -1,51 | -0,75 |

Na níže uvedených snímcích jsou znázorněna zorná pole Leap Motion a headsetu Oculus Rift DK2. Zorné pole kamerového systému je při úpravě obrazu přizpůsobeno parametrům headsetu. Přední blok je proto tvarován tak, aby toto pole nijak neomezoval. Uvedená situace odpovídá stavu při inspekci podvozku automobilu. Kamerový modul je naklopen v úhlu +90°. Při opačném naklopení, -90°, může být robot použit o pro monitoring kanálů apod.

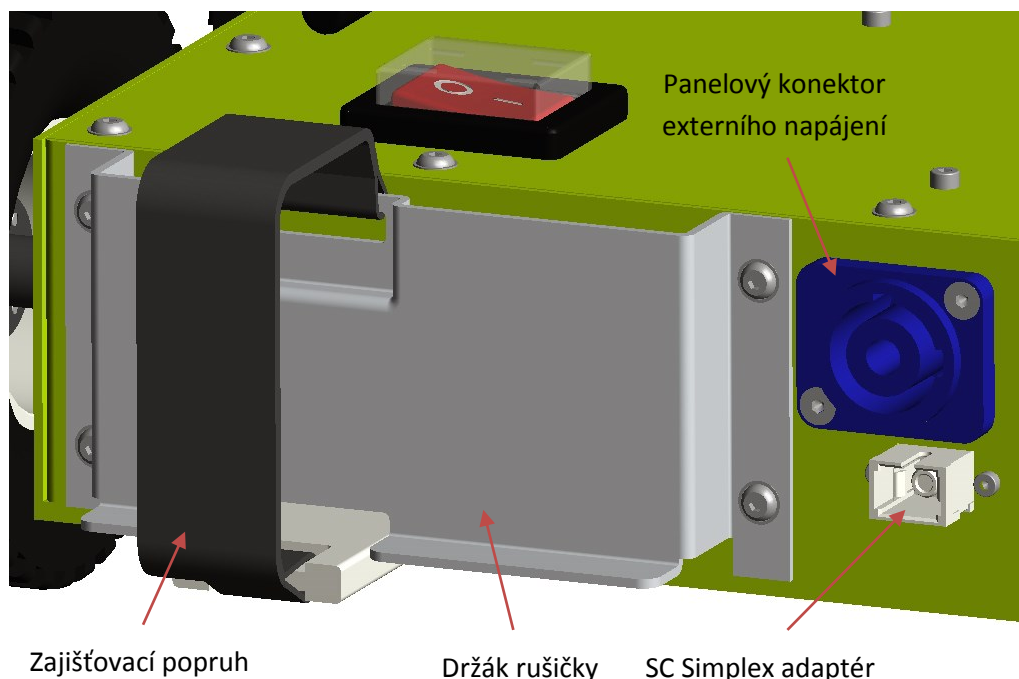


Obr. 7-13 Zorná pole



Obr. 7-14 Zorná pole - Detail

Při bezdrátové komunikaci a provozu na interní zdroj napájení jsou panelové konektory chráněny krytkami proti vniknutí nečistot. Tyto krytky nejsou součástí modelu. Pryžový popruh dosahuje takové délky, aby během provozu bez rušičky, neomezoval pohyb robotu. Držák je od zadního bloku odsazen, aby nedocházelo ke kolizi mezi anténami rušičky a pneumatikami. Díky tomu je možné jej použít i jako madlo pro přenos robotu.



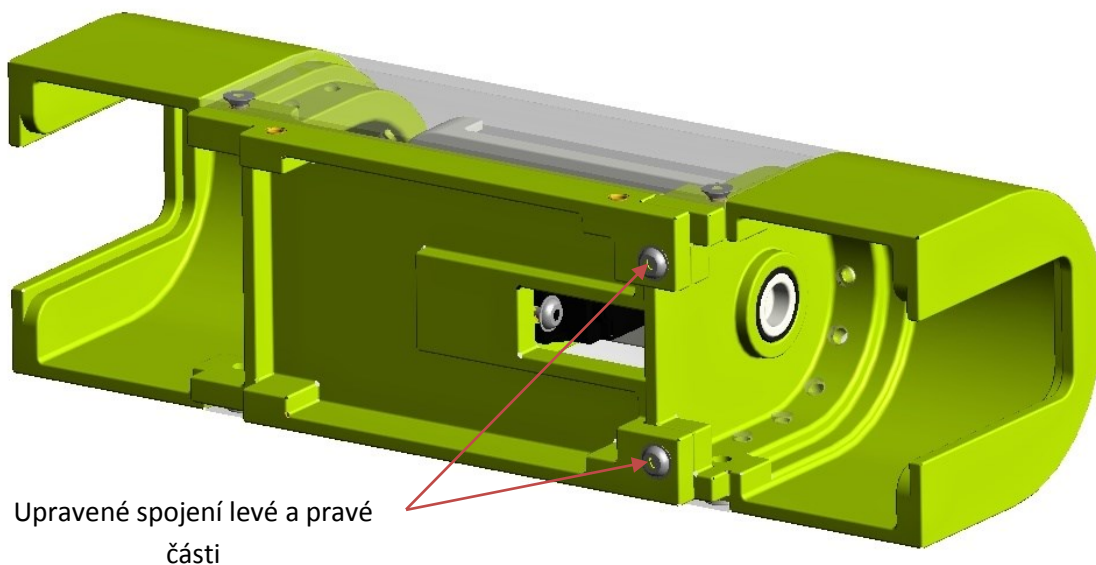
Obr. 7-15 Robot – 3. Stádium – Zadní blok

Zhodnocení 3. Stádia

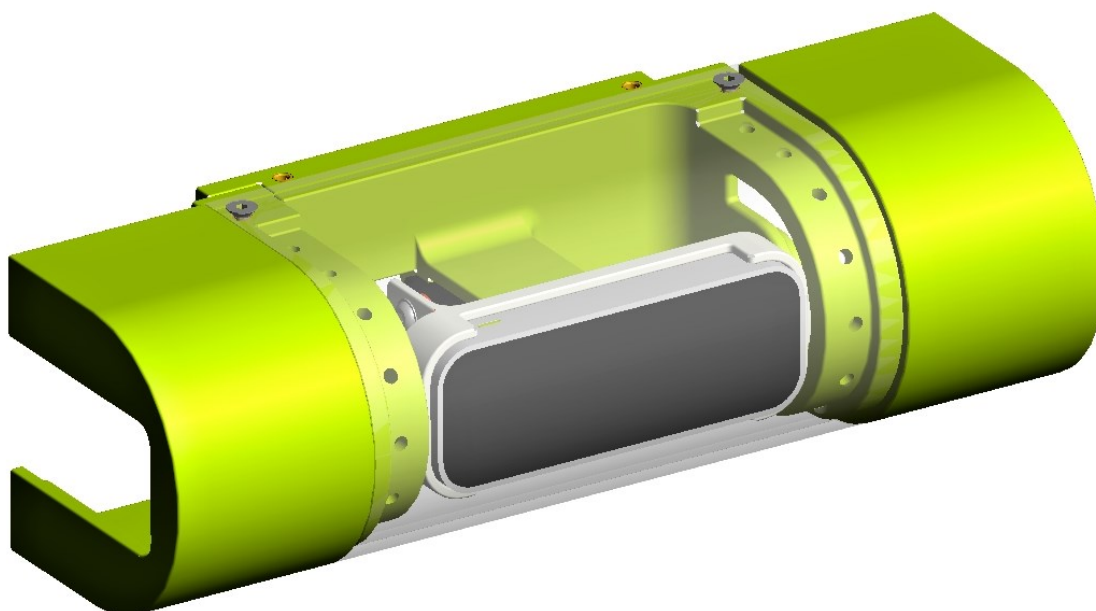
Zajištění levé a pravé části předního bloku pouze tvarovým zámkem je nedostačující. Přechody bez zaoblení nejsou vhodné z hlediska vrubového účinku a zvýšení pravděpodobnosti prasknutí. Volně uložené články akumulátoru je potřeba zajistit proti pohybu. Použití vnitřního bloku s nýtovacími maticemi vede pouze ke složitější konstrukci. Výstupní hřídel převodovky je uložena pouze v jednom ložisku, což může zapříčinit poškození pohonu. Prolis v uchycení rušičky signálu zvyšuje výrobní náklad na výrobu. USB konektory na řídicích modulech slouží pouze pro programování, ne pro řízení.

7.4 4. Stádium návrhu

Náplní jsou optimalizace předešlého stádia. Tvarový zámek předního bloku je nahrazen spojením pomocí závitových vložek a šroubů. Přechody jsou doplněny o zaoblení. Technologie FDM vytváří malá zaoblení i v místech, kde nejsou požadována. Zaoblení nejsou použita v místech, kde dosedá kryt kamerového systému a deska spodního bloku rámu. Pokud by tato zaoblení činila problémy při montáži, je potřeba je odstranit.

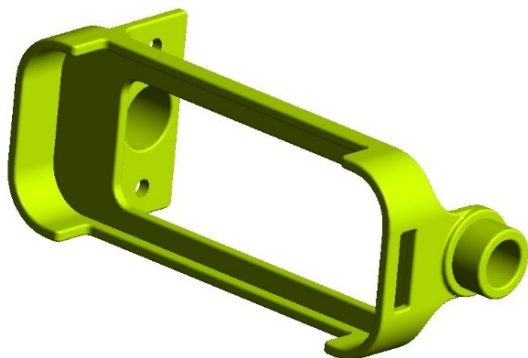


Obr. 7-16 Robot – 4. Stádium – Přední blok

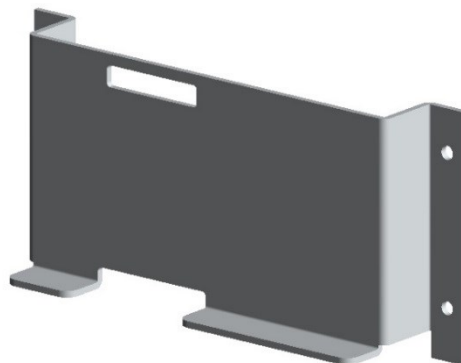


Obr. 7-17 Robot – 4. Stádium – Přední blok

V uložení Leap Motion je odebrána vnitřní část. Díky tomu je možné uchycení mikroserva v předním bloku po celé jeho délce.

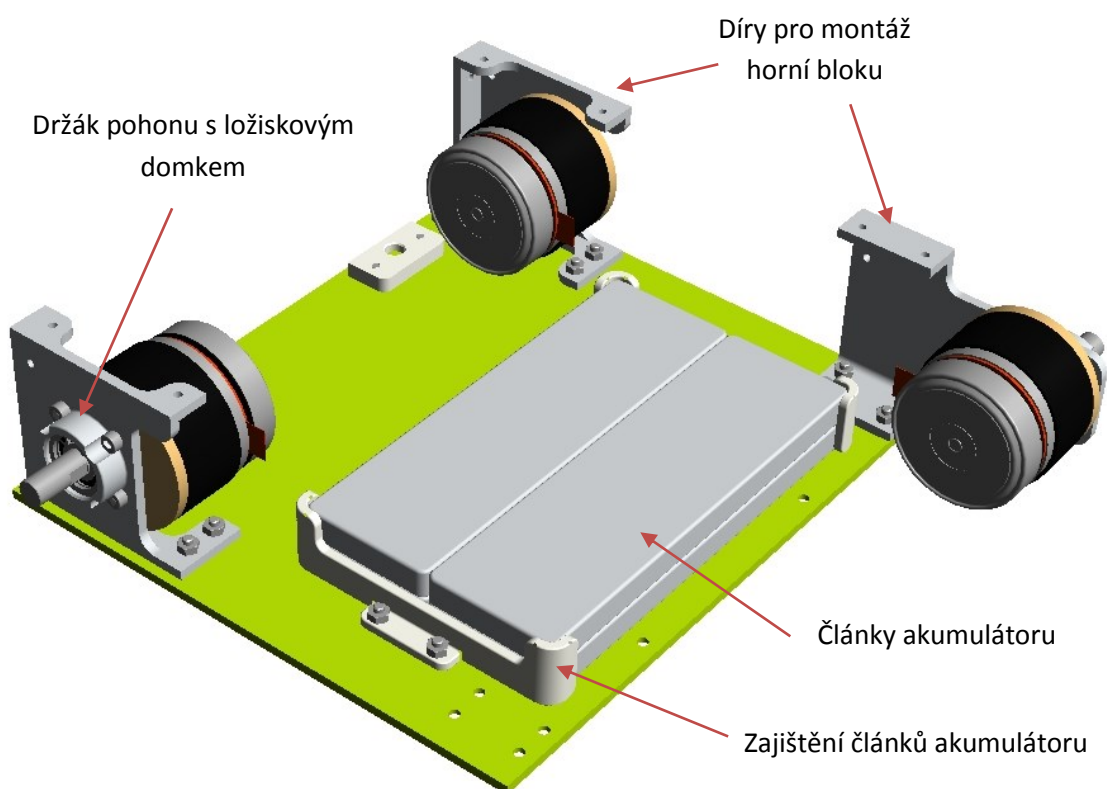


Obr. 7-18 Uložení Leap Motion



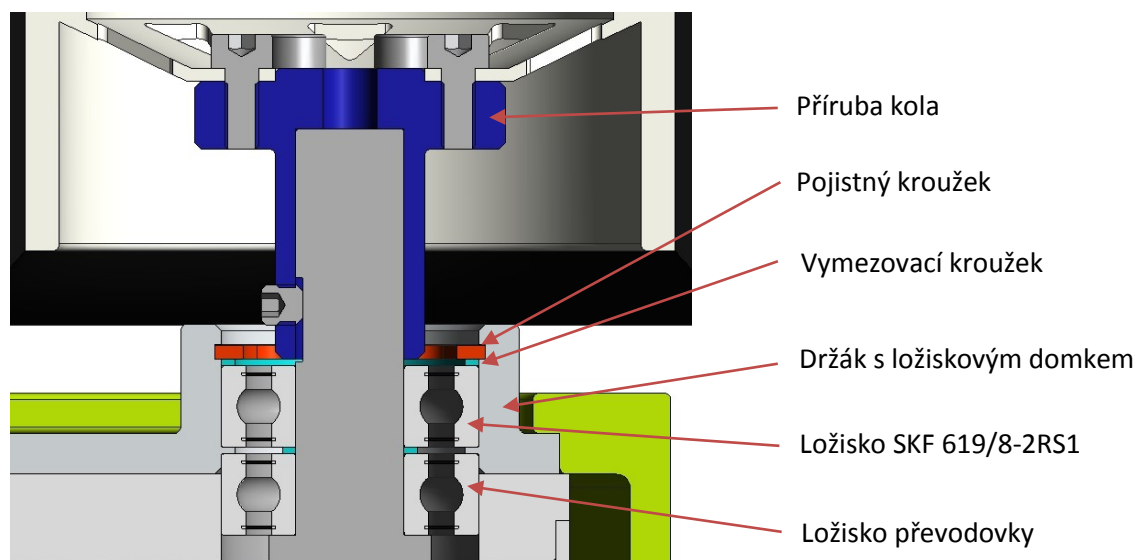
Obr. 7-19 Uchycení rušičky signálu

Volné články akumulátoru jsou zajištěny pomocí dvou držáků, pro které je uvažována výroba technologií FDM. Díly jsou uchyceny ke spodnímu bloku pomocí šroubů se zápustnou hlavou a matic. Držáky pohonů slouží pro montáž horního bloku a jsou doplněny o ložiskový domek pro umístění druhé podpory hřídele převodovky.



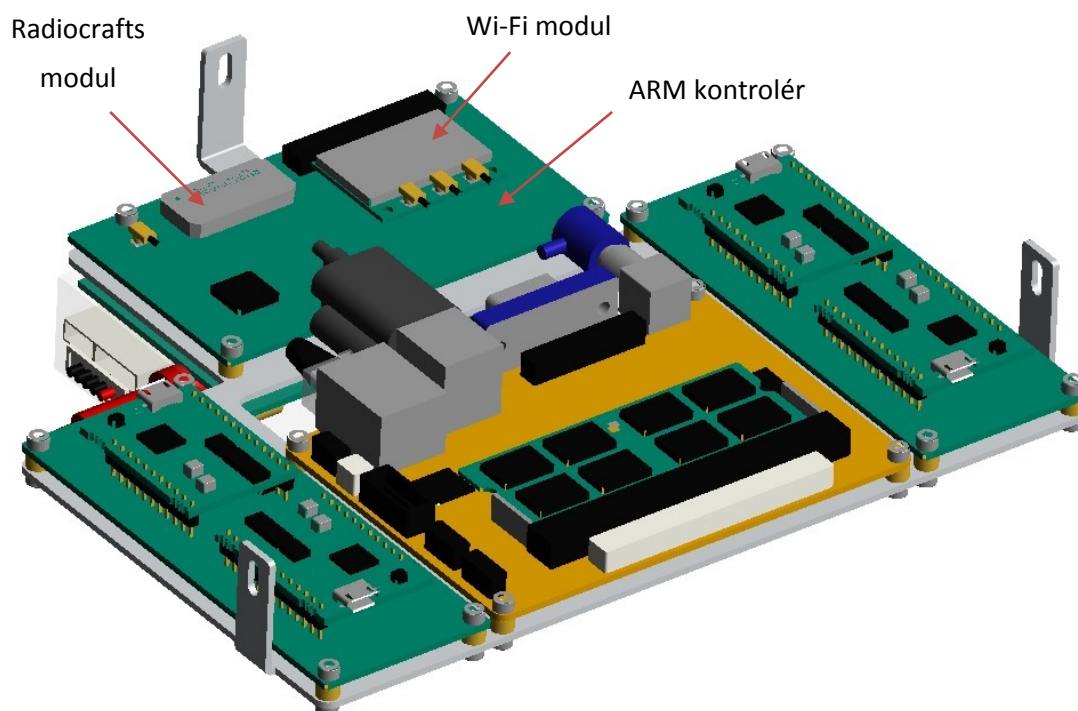
Obr. 7-20 Robot – 4. Stádium – Nosný rám

Je použito jednořadé radiální kuličkové ložisko stejných rozměrů, jako je ložisko v převodovce. Jedná se o SKF 619/8-2RS1 s kontaktním těsněním po obou stranách, které má zvýšenou ochranu proti průniku prachu a vody. V axiálním směru je ložisko zajištěno pomocí pojistného kroužku. Pro vymezení vzdáleností jsou použity vymezovací kroužky.



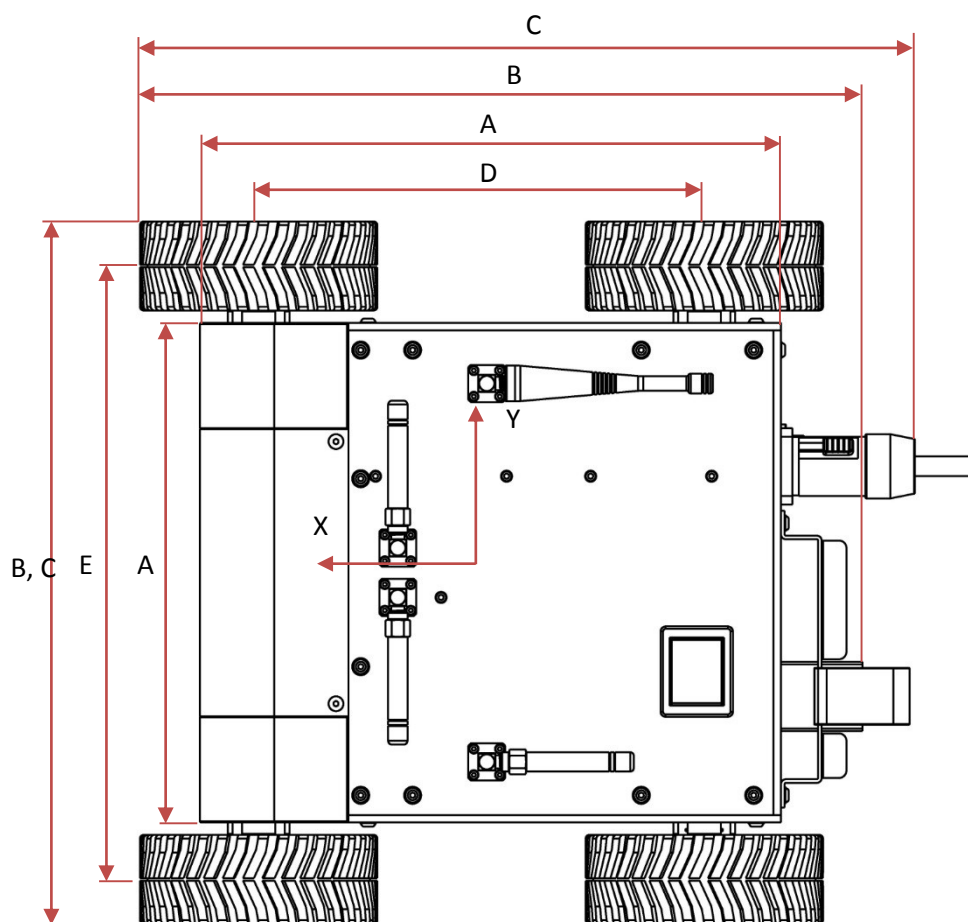
Obr. 7-21 Uložení hřídele převodovky - Řez

Po zjištění, že USB konektory na řídicích modulech slouží pouze pro programování, ne pro řízení, jsou z modelu odstraněny spolu s konektory USB hubu. Elektronika je doplněna o kontrolér s mikroprocesorem ARM. Kontrolér zajišťuje řízení pohonů, ovládání digitálního mikroserva, solenoidu a IR LED přísvitů. Kromě toho nese sloty pro připojení komunikačních modulů.

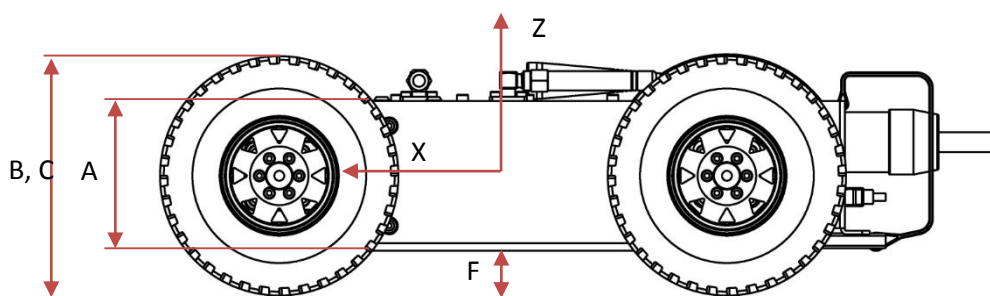


Obr. 7-22 Robot – 4. Stádium – Montážní deska s elektronikou

Oproti třetímu stádiu došlo k mírnému nárůstu hmotnosti a rozvoru. Nárůst hmotnosti je zapříčiněn použitím plechů tloušťky 3 mm pro boční bloky místo 1,5 mm.



Obr. 7-23 Rozměry – 4. Stádium



Obr. 7-24 Rozměry – 4. Stádium



Tab. 7-5 Robot – 4. Stádium

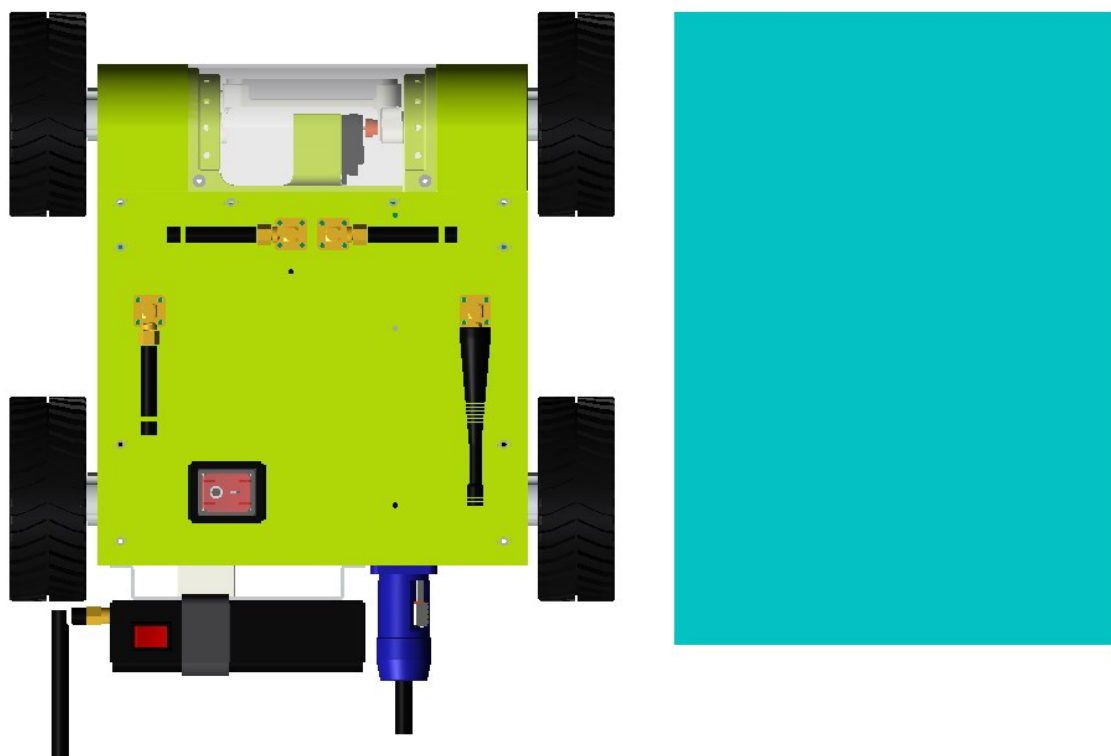
| 4. Stádium návrhu | |
|---|---------------------|
| A Rozměry rámu (d × š × v) | 235 × 202 × 60 mm |
| B Celkové rozměry bez kabelu (d × š × v) | 292,3 × 284 × 96 mm |
| C Celkové rozměry s kabelem (d × š × v) | 313,5 × 284 × 96 mm |
| D Rozvor | 180,3 mm |
| E Rozchod | 248 mm |
| F Teoretická světlá výška | 18 mm |
| Min. vzdálenost kamerového systému od podvozku (vztaženo ke krycímu sklu) | 29,4 mm |
| Hmotnost bez rušičky signálu | 3,9 kg |
| Hmotnost s rušičkou signálu | 4,3 kg |

Souřadnice těžiště podvozku jsou vztaženy k souřadnému systému, který je umístěn ve středu rámu robotu.

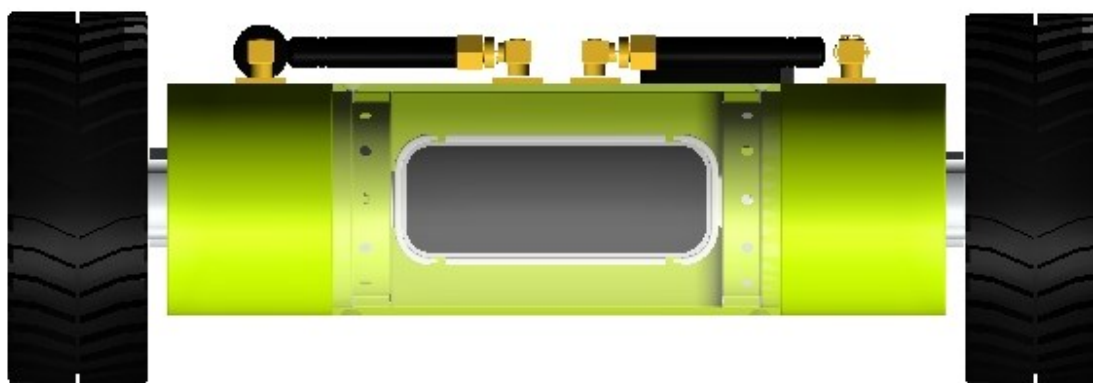
Tab. 7-6 Souřadnice těžiště – 4. Stádium

| Souřadnice těžiště | Podvozek bez rušičky signálu | Podvozek s rušičkou signálu |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| X [mm] | -4,75 | -15,15 |
| Y [mm] | 0,58 | -2,27 |
| Z [mm] | -1,53 | -0,76 |

Lepší představu o skutečné velikosti robotu dává srovnání s listem papíru formátu A4.



Obr. 7-25 Srovnání s listem A4



Obr. 7-26 Robot – 4. Stádium

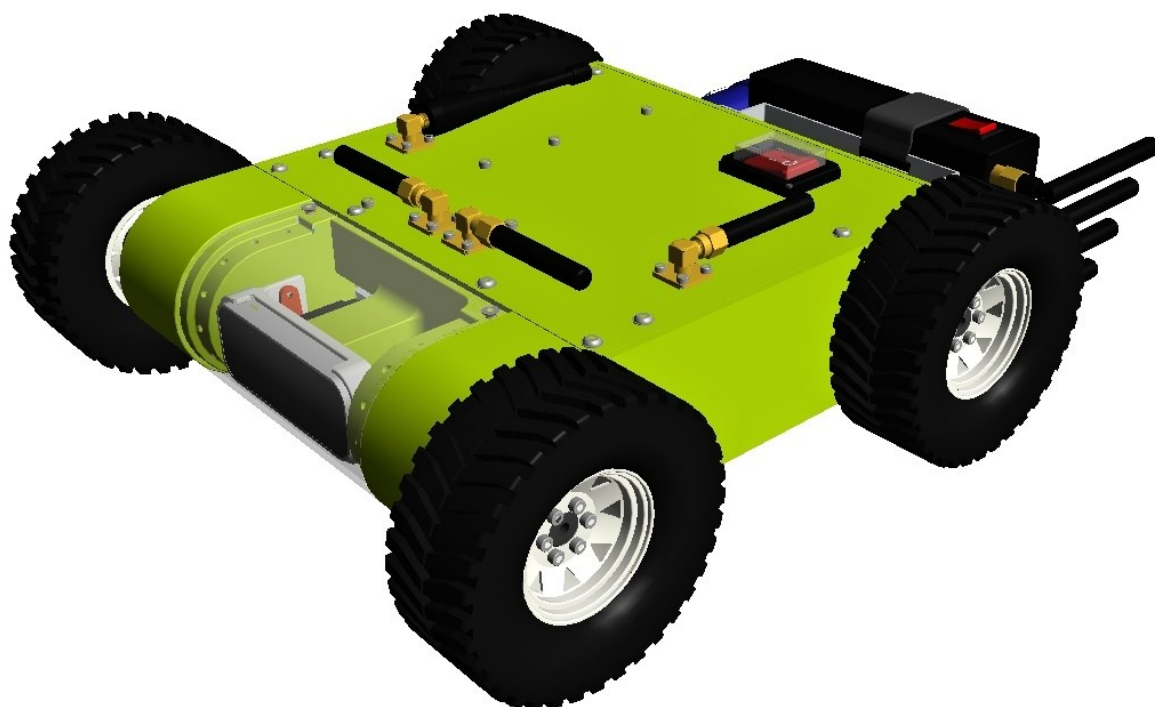
Konstrukce podvozku založená na blokové struktuře umožňuje jednoduché sestavení celku, neboť jsou jednotlivé bloky smontovány a osazeny potřebnými komponenty a až následně upevněny na nosný rám. Ten je tvořen spodní deskou a držáky předních a zadních pohonů. Světla výškou výšku podvozku je možné konfigurovat buď změnou velikosti použitých pneumatik, popř. celého kola. Výsledné parametry navrženého robotu jsou shrnuty v níže uvedené tabulce. Hmotnost robotu pravděpodobně mírně naroste kvůli absenci kabeláže a jiných prvků elektroniky pro zajištění funkce. Pro toto a další úpravy je zde hmotnostní rezerva 0,7 kg při uvažování maximální hmotnosti robotu včetně rušičky signálu 5 kg.



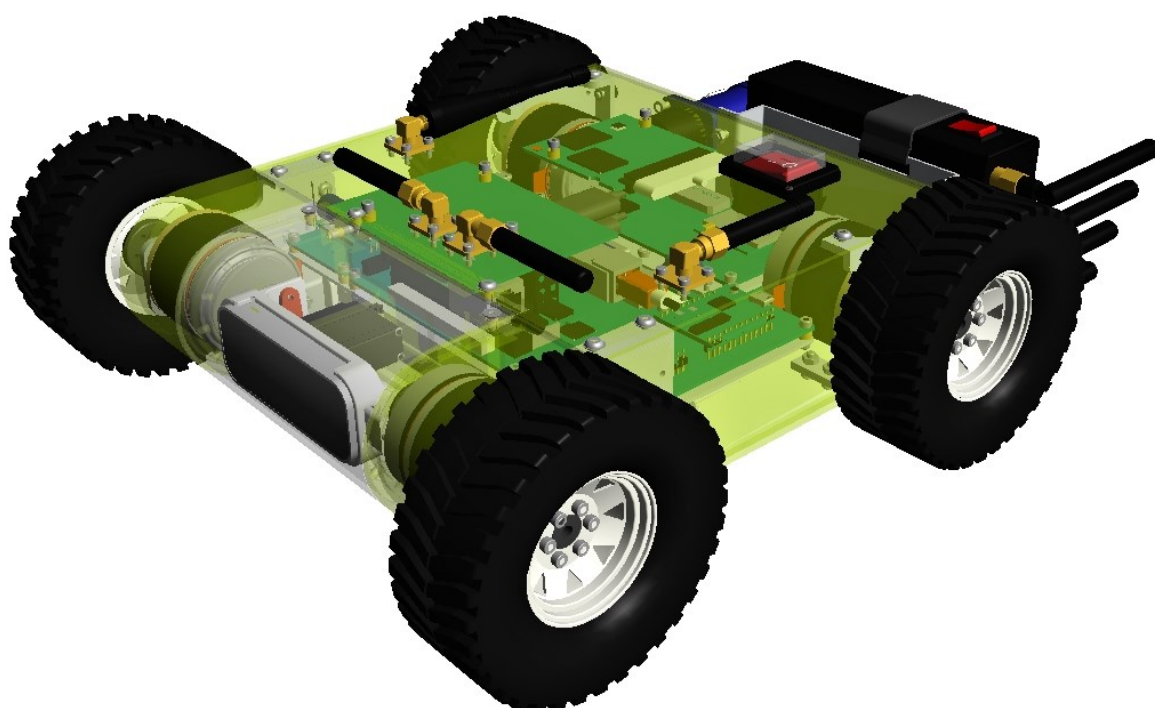
* Hodnoty je nutné otestovat po realizaci prototypu.

Tab. 7-7 Výsledné parametry robotu

| Výsledné parametry robotu | |
|---|--|
| Pohon | Elektrický, 4 ks, Maxon EC 45 flat 30 W + Maxon GS 45 A |
| Rychlost pohybu | *Rovina - $1,5 \text{ m s}^{-1}$ *Nakloněná rovina - 1 m s^{-1} |
| Zaručený úhel stoupání | * 25° |
| Zdroj napájení | Interní – LiPo akumulátor Hyperion G3 CX 4S/14,8 V 4 000 mAh 25C Externí – Napájecí kabel s bezpečnostním zajištěním proti uvolnění |
| Doba provozu při napájení z akumulátoru | * $> 30 \text{ min}$ |
| Komunikace | Bezdrátová – Wi-Fi, radio Kabel s optickým vláknem pro obousměrnou komunikaci |
| Dosah komunikace | *Wi-Fi – 50 m Radio - $> 50 \text{ m}$ |
| Kamerový systém | Leap Motion Zorné pole - 100° diagonálně Rozsah naklápění - $\pm 90^\circ$ Doplněno o přísvit 18 IR LED |
| Rozměry rámu (d × š × v) | 235 × 202 × 60 mm |
| Celkové rozměry bez kabelu (d × š × v) | 292,3 × 284 × 96 mm |
| Celkové rozměry s kabelem (d × š × v) | 313,5 × 284 × 96 mm |
| Rozvor | 180,3 mm |
| Rozchod | 248 mm |
| Teoretická světla výška | 18 mm |
| Min. vzdálenost kamerového systému od podvozku (vztaženo ke krycímu sklu) | 29,4 mm |
| Hmotnost bez rušičky signálu | 4 kg |
| Hmotnost s rušičkou signálu | 4,3 kg |
| Stupeň krytí | IP44 |
| Možnost převozu a vyložení rušičky signálu | Max. hmotnost - 0,3 kg |



Obr. 7-27 Robot – 4. Stádium



Obr. 7-28 Robot – 4. Stádium

8 Použité komponenty

8.1 Solenoid

Pro vyložení rušičky signálu je použit malý solenoid v tlačném provedení. Spona popruhu je zajištěna stranou pístu s pružinou, která je vysunuta bez potřeby napájení. Při napájení solenoidu dojde k uvolnění spony a následnému vyložení rušičky na požadovaném místě. Tímto je zvýšena nejen bezpečnost zajištění, ale také snížena spotřeba energie. Konec pístu je osazen nástavcem, který umožňuje zasunutí spony i bez nutnosti zdvižení pístu [40, 41].



Obr. 8-1 Solenoid [40]

Tab. 8-1 Solenoid [40]

| Solenoid | |
|-----------------|---------------|
| Provedení | Tlačné (Push) |
| Napájecí napětí | 5 V |
| Zdvih | 4,5 mm |
| Hmotnost | 13 g |

8.2 Mikroservo

Naklápění je realizováno pomocí digitálního mikroserva Hitec HS-5085 MG s kovovými převody. Servo umožňuje mimo jiné naprogramování rychlosti a směru otáčení, nastavení jednotlivých poloh hřídele a zvýšení pracovního úhlu až na 180°. Rozsah naklápění je $\pm 90^\circ$ se střední polohou v horizontální rovině. Je uvažováno odstranění montážního držáku blíže hřídeli a v případě nutnosti úprava otvoru pro vyvedení kabeláže. Hřídel serva je osazena oboustrannou pákou [42, 44].



Obr. 8-2 Mikroservo Hitec HS-5085 MG [43]

Tab. 8-2 Mikroservo Hitec HS-5085 MG [42]

| Hitec HS-5085 MG | |
|-------------------------|--|
| Max. krouticí moment | 3,6 kg·cm (4,8 V) 4,3 kg·cm (6 V) |
| Napájecí napětí | 4,8 – 6 V |
| Typ hřídele | C1 |
| Pracovní úhel | 90° (180° po konfiguraci) |
| Spotřeba proudu | 2 A pro držení polohy (4,8 V) 3 A pro držení polohy (6 V) |
| Rozměry (d × š × v) | 40 × 13 × 34 mm |
| Hmotnost | 22 g |

8.3 Kola

Na robotu jsou použity ocelové disky RC4WD 6 Lug Wagon 1.9" s odnímatelným nábojem v kombinaci s pneumatikami RC4WD Prowler XS 1.9", které jsou dodávány s pěnovými výplněmi. V případě nedostatečné tvrdosti výplní budou nahrazeny jiným materiálem [45].



Obr. 8-3 Disk RC4WD [45]



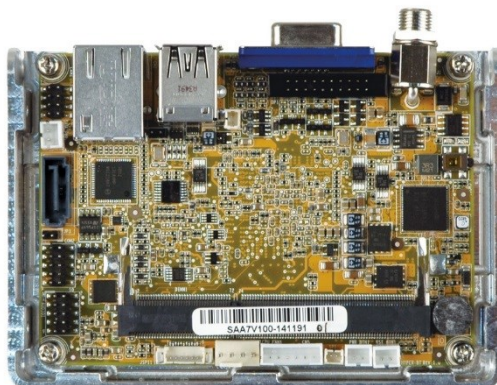
Obr. 8-4 Pneumatika RC4WD [45]

Tab. 8-3 Kolo [45]

| RC4WD 6 Lug Wagon 1.9" | |
|-------------------------------|--------------|
| Vnější průměr | 48,3 mm |
| Šířka | 25,4 mm |
| Hmotnost | 71 g |
| RC4WD Prowler XS 1.9" | |
| Vnější průměr | 96 mm |
| Šířka | 35,8 mm |
| Hmotnost | 57 g |
| Celková hmotnost kola | 128 g |

8.4 Řídicí počítač a periferie

Při výběru řídicího počítače hrají klíčovou roli rozměry, dostatečný výkon, rozhraní, kterými disponuje a v neposlední řadě cena. Všechny tyto požadavky splňují jednodeskové počítače Pico-ITX, které jsou dostupné v provedeních Intel® (HYPER-BT) a AMD® (HYPER-KBN). Typy procesorů jsou tzv. SoC (System-on-a-chip). Pro nevýhody AMD, kterými jsou relativně vysoká energetická náročnost a přehřívání, je zvolena verze Intel. Na základě porovnání procesorů, kterými může být počítač osazen, je vybrán Intel® Celeron® J1900 [46].



Obr. 8-5 Řídicí počítač Pico-ITX HYPER-BT [46]

Tab. 8-4 Řídicí počítač Pico-ITX HYPER-BT [46]

| Pico-ITX HYPER-BT | |
|--------------------------|---|
| SoC | Intel® Celeron® J1900 (2 GHz, quad-core, 2 MB cache, TDP = 10 W) |
| Operační paměť | 1× 204-pin 1066/1333 MHz jednobanňová DDR3L SO-DIMM, max. 8 GB |
| Grafika | Intel® HD Graphics Gen 7 Engines |
| Rozhraní | 1× LAN 2× RS-232 (2× pin) 1× SATA 3 Gb/s (5V SATA) 1× USB 3.0 3× USB 2.0 (2× pin) |
| Napájecí napětí | 12 V DC |
| Spotřeba proudu | 1,5 A |
| Rozměry (d × š) | 100 × 72 mm |
| Hmotnost | 250 g |

Řídicí počítač je osazen operační pamětí Kingston s maximální možnou kapacitou.



Obr. 8-6 Operační paměť Kingston [47]

Tab. 8-5 Operační paměť Kingston [46]

| Kingston | |
|-------------|--------------|
| Typ | SO-DIMM DDR3 |
| Kapacita | 8 GB |
| Frekvence | 1 333 MHz |
| Počet pinů | 204 |
| CAS Latence | CL9 |

Dále je řídicí počítač doplněn o SSD Samsung 850 PRO s kapacitou 128 GB, který je vybrán na základě dobrých výsledků v testech. SSD neobsahují pohyblivé části, což je činí vhodnými pro použití v mobilních zařízeních. Je uvažováno použití bez krytování. SSD je dodáváno s redukcí SATA/USB. Níže uvedený snímek odpovídá použitému typu [48].



Obr. 8-7 Samsung SSD 850 PRO [49]

Tab. 8-6 Samsung SSD 850 PRO [48]

| Samsung SSD 850 PRO | |
|----------------------------|--------------------------------------|
| Kapacita | 128 GB |
| Velikost | 2,5" |
| Rozhraní | SATA III 6 Gb/s, zpětně kompatibilní |
| Sekvenční čtení | Až 550 MB/s |
| Sekvenční zápis | Až 470 MB/s |
| Rozměry (d × š × v) | 100 × 70 × 7mm |
| Hmotnost | 66 g |

Pro maximalizaci dosahu Wi-Fi komunikace je použit modul, který umožňuje připojení tří antén. Je uvažováno použití převodníku z rozhraní PCIe na USB. Antény Radiocrafts jsou vyvedeny na horní krytování robotu.



Obr. 8-8 Wi-Fi modul [46]

Tab. 8-7 Wi-Fi modul a anténa [46, 50]

| WIFI-RT3593-DB-R10 | |
|----------------------------------|---------------------------|
| Frekvenční pásmo | 2,4/5 GHz |
| Standard | IEEE 802.11a/b/g/n |
| Rozhraní | PCIe Mini Card |
| Konektory | 3× U.FL (I-PEX) |
| Rychlost přenosu | Až 450 Mbit/s (3T3R mode) |
| Citlivost | -71 dBm (450 Mbit/s) |
| Spotřeba proudu (RX/TX) | 460/430 mA |
| Rozměry (d × š × v) | 28 × 30 × 4 mm |
| Hmotnost | 11 g |
| Radiocrafts ANT2450QW-SMA | |
| Frekvenční pásmo | 2,45 GHz |

| | |
|--------------------------|----------------------|
| Zisk | 0 dBi |
| Vyzařovací element | Čtvrtvlnný |
| Polarizace | Lineární, vertikální |
| VSWR | < 2:1 |
| Výkon | 3 W |
| Konektor | SMA Male |
| Rozměry (d × Ø základny) | 53,5 × Ø7,8 mm |

Kromě Wi-Fi je komunikační subsystém vybaven také radio frekvenčním modulem Radiocrafts RC1780HP-RC232 s velkým dosahem signálu. Modul plní pojistnou funkci pro případ, že se robot dostane mimo signál Wi-Fi. Vzhledem k malým rychlostem přenosu dat není možný přenos obrazu v reálném čase, slouží tedy pouze pro ovládání pojezdu a k občasnému zaslání snímku pro orientaci v prostoru a určení polohy robotu. Pro modul je použita anténa Radiocrafts ANT868/915QW-SMA. Stejný modul je umístěn i na stanovišti operátora [50].



Obr. 8-9 Radio modul Radiocrafts [50]

Tab. 8-8 Radio modul Radiocrafts a anténa [50]

| Radiocrafts RC1780HP-RC232 | |
|-------------------------------------|--|
| Frekvenční pásmo | 868 MHz |
| Rychlost přenosu | 1,2 – 100 kbit/s |
| Max. výstupní výkon | 27 dBm |
| Citlivost | -102 dBm (100 kbit/s) |
| Napájecí napětí | 2,8 – 3,8 V (dodatečně 5 V pro HP verze s +27 dBm) |
| Spotřeba proudu (RX/TX/SLEEP) | 31,7 mA/407 mA/2,0 µA |
| Rozměry (d × š × v) | 25,4 × 12,7 × 3,3 mm |
| Radiocrafts ANT868/915QW-SMA | |
| Frekvenční pásmo | 868 a 915 MHz |
| Zisk | 0 dBi |

| | |
|--------------------------|----------------------|
| Vyzařovací element | Čtvrtvlnný |
| Polarizace | Lineární, vertikální |
| VSWR | < 2:1 |
| Výkon | 5 W |
| Konektor | SMA Male |
| Rozměry (d × Ø základny) | 84 × Ø14,5 mm |

Pro návrh a tvorbu modelu je využito media konvertoru Zcomax, který je dostupný na Katedře robotiky. Jedná se o starší typ. Zařízení slouží pro převod optických signálů na elektrické. Media konvertor disponuje SFP slotem a jeho přenosové vlastnosti jsou určeny použitým SFP modulem. V tomto případě je použit modul SPB-7703CIS-SC využívající jednovidové (single-mode) vlákno a technologii WDM s maximální přenosovou vzdáleností 3 km. Komunikace je realizována přes jedno optické vlákno, kdy se liší vlnové délky pro vysílaný (Tx) a přijímaný (Rx) signál. Pro realizaci komunikace je nutné použít v páru, kdy je jeden kus umístěn v robotu a druhý na stanovišti operátora. Media konvertor je zbaven krytování, čímž došlo ke snížení celkových rozměrů a hmotnosti o 155 g [51, 52].



Obr. 8-10 Media konvertor Zcomax

Tab. 8-9 Media konvertor Zcomax [51]

| Zcomax ZX-C1002SFP | |
|---------------------------|---------------------------|
| Rychlost přenosu | 10/100/1000 Mbps |
| Vlnová délka | Tx: 1550 nm Rx: 1310 nm |
| Optické vlákno | Jednovidové (Single-Mode) |
| Konektor | SC simplex |
| Max. přenosová vzdálenost | 3 km |
| Napájecí napětí | 5 VDC |
| Spotřeba proudu | 2 A |

| | |
|------------------------|-------|
| Hmotnost | 230 g |
| Hmotnost bez krytování | 75 g |

Pro vyvedení konektoru SPB modulu na rám je použit SC-SC simplex adaptér pro jednovidové optické vlákno, který již obsahuje zásuvné těsnění. Adaptér je dostupný v provedeních UPC a APC, které se mezi sebou liší zakončením optického vlákna. Zakončení u UPC je rovné, u APC zkosené pod úhlem 8°.

8.5 Napájecí konektory

Napájení po kabelu je realizováno přes třípólové konektory Neutrik řady powerCON s bezpečnostním zajištěním proti uvolnění. Konektory jsou dimenzovány na proudovou zatížitelnost 20 A/kontakt a napětí 250 VAC. Panelový konektor je doplněn o těsnící kryt Neutrik SCD-W se stupněm krytí IP65 [53].



Obr. 8-11 Napájecí konektory a těsnící kryt Neutrik [53]

8.6 Spínač napájení

Kolébkový spínač s aretací Arcoelectric P-C1353ALG01R je dimenzován na proudovou zatížitelnost 16 A a napětí 250 VAC. Ochranný obal zajišťuje stupeň krytí IP65 a zapnutý stav je signalizován podsvícením hmatníku [54].



Obr. 8-12 Spínač napájení Arcoelectric [54]

9 Volba zdroje napájení

9.1 Návrh kapacity akumulátoru

Tab. 9-1 Přehled spotřeb

| Komponent | Množství [ks] | Napájecí napětí [VDC] | Nominální spotřeba proudu pro 1 ks [A] | Nominální spotřeba proudu pro celkové množství [A] |
|------------------------------------|---------------|-----------------------------------|--|--|
| Maxon EC 45 flat | 4 | 12 | 2,02 | 8,08 |
| Maxon ESCON 24/2 | 4 | 10 – 24 | 0,1 | 0,4 |
| Pico-ITX HYPER-BT | 1 | 12 | 1,5 | 1,5 |
| Samsung SSD 850 PRO | 1 | 5 | 0,56 | 0,56 |
| WIFI-RT3593-DB-R10 | 1 | 3,3 | 0,46 | 0,46 |
| Radiocrafts RC1780HP-RC232 | 1 | 3,8 5 – Dodatečné pro HP verzi | 0,41 | 0,41 |
| Navržený ARM kontrolér | 1 | 12 | 0,3 | 0,3 |
| Leap Motion | 1 | 5 | 0,32 | 0,32 |
| Hitec HS-5085 MG | 1 | 4,8 (6) | 2 (3) | 2 |
| IR LED přisvit | 18 | 1,2 | 0,03 | 0,54 |
| Celková nominální spotřeba proudu: | | | | 14,16 |

Návrh zahrnuje pouze komponenty, které jsou aktivní po celou dobu provozu při napájení akumulátorem. V případě komunikace přes Wi-Fi není aktivní radiový modul Radiocrafts. Ve výpočtu je zohledněn Wi-Fi modul, jehož spotřeba je vyšší.

Celková nominální spotřeba proudu činí 14,16 A. Při návrhu je uvažováno 20 % doby provozu při této spotřebě. Do této části spadají také krátkodobá přetížení.

$$K_{20\%} = 14,16 \cdot 0,2 = 2,83 \text{ Ah} \quad (9.1)$$

Dále je předpokládáno 80 % doby provozu s odběrem proudu 5 A.

$$K_{80\%} = 5 \cdot 0,8 = 4 \text{ Ah} \quad (9.2)$$

Součtem těchto dvou hodnot je stanovena potřebná kapacita pro hodinový provoz.

$$K_{1h} = K_{20\%} + K_{80\%} = 2,83 + 4 = 6,83 \text{ Ah} \quad (9.3)$$

Při uvažování potřebné doby provozu minimálně 30 minut, která je stanovena v požadavkovém listu, vyplývá:

$$K_{30min} = \frac{K_{1h}}{2} = \frac{6,83}{2} = 3,42 \text{ Ah} \quad (9.4)$$

Z hlediska životnosti by LiPo akumulátory neměly být nikdy zcela vybity. Proto je zahrnuta 15% rezerva. Potřebná kapacita akumulátoru je:

$$K_p = K_{30min} \cdot 1,15 = 3,42 \cdot 1,15 = 3,93 \text{ Ah} \quad (9.5)$$

Kromě návrhových výpočtů potřebné kapacity akumulátoru s ohledem na požadovanou dobu provozu je při výběru nahlíženo také na provozní spolehlivost, rozměry, hmotnost a v neposlední řadě na cenu. Po zhodnocení těchto aspektů je i přes vyšší cenu právě pro svou spolehlivost vybrán LiPo akumulátor Hyperion G3 CX. Nominální napětí jednoho článku je 3,7 V. Z akumulátoru je odstraněna fólie a je rozdělen na jednotlivé články pro lepší využití prostoru uvnitř robotu. Reálnou dobu provozu lze ověřit až testováním prototypu v reálných podmínkách. S rostoucí kapacitou rostou také rozměry jednotlivých článků [55].



Obr. 9-1 LiPo akumulátor Hyperion G3 CX [55]

Tab. 9-2 LiPo akumulátor Hyperion G3 CX [55]

| Hyperion G3 CX | |
|---|------------------|
| Počet a řazení článků/napětí | 4S/14,8 V |
| Kapacita | 4 000 mAh |
| Konstanta pro max. kontinuální vybíjecí proud | 25C |
| Max. kontinuální vybíjecí proud | 100 A |
| Rozměry (d × š × v) | 138 × 42 × 38 mm |
| Hmotnost | 403 g |

9.2 Nabíjecí zařízení

Jako každý typ akumulátorového článku i nabíjení LiPo článku má svá specifika, která je potřeba dodržet. Aby mohl být akumulátor nabíjen i bez nutnosti demontáže horního krytu, popř. komplikovaného vyjmutí jednotlivých článků, je integrováno nabíjecí zařízení iMaxRC B4 Compact přímo do robotu. Nabíjení je realizováno přes napájecí kabel. Pro snížení rozměrů a hmotnosti je uvažováno odstranění krytování, signalizačních LED a otočení napájecího konektoru o 90°. Při tvorbě modelu je jako předloha použito výkonnější nabíjecí zařízení stejného výrobce a velikost ostatních prvků je zohledněna použitím skeletonu. Výhodou zařízení je jeho snadná obsluha. Během nabíjecího procesu se automaticky mění nabíjecí proud podle aktuální potřeby [56].



Obr. 9-2 Nabíjecí zařízení iMaxRC B4 Compact [56]

Tab. 9-3 Nabíjecí zařízení iMaxRC B4 Compact [56]

| iMaxRC B4 Compact | |
|---|-------------------|
| Nabíjecí rozsah dle počtu článků | 2 – 4S |
| Napájecí napětí | 11 – 18 VDC |
| Nabíjecí výkon | Max. 35 W |
| Nabíjecí proud | 0,5 – 4 A |
| Vybíjecí proud | 0,1 – 1 A |
| Odběr proudu pro vyrovňávání (balancing) LiPo | 200 mAh/článek |
| Rozměry s krytováním (d × š × v) | 100 × 63 × 34 mm |
| Rozměry skeletonu (d × š × v) | 97 × 55 × 21,5 mm |
| Hmotnost s krytováním | 160 g |
| Odhadovaná hmotnost bez krytování | 50 g |

10 Ovládání robotu

Kromě řízení pohybu a funkcí robotu pomocí ovladače, např. gamepadu, může být ovládání doplněno o Leap Motion. Snímáním pohybu rukou je možné ovládat některé funkce a přepínat obrazový výstup z robotu na snímání okolí operátora bez nutnosti manipulace s headsetem. Kromě toho mohou být použity i rukavice s integrovanými senzory pro zvýšení rychlosti a zejména přesnosti ovládání.



Obr. 10-1 Gamepad Logitech F710 [57]

Pro uchycení Leap Motion na headset je pomocí technologie FDM vyroben držák. STL data jsou k dispozici přímo od Leap Motion [58]. Systém FORTUS 360mc L využívá jako stavební materiál polykarbonát. Při odstraňování podpůrného materiálu došlo k ulomení části, která slouží pro zajištění na headsetu. Před usazením Leap Motion jsou sbroušeny boční plochy uvnitř držáku.



Obr. 10-2 Kompletní sestava

Níže uvedená hodnota velikosti zorného pole Leap Motion je brána jako průměrná z velikostí zorného pole v podélném a příčném směru.



Obr. 10-3 Porovnání zorných polí [36]

11 Schéma zapojení komponent

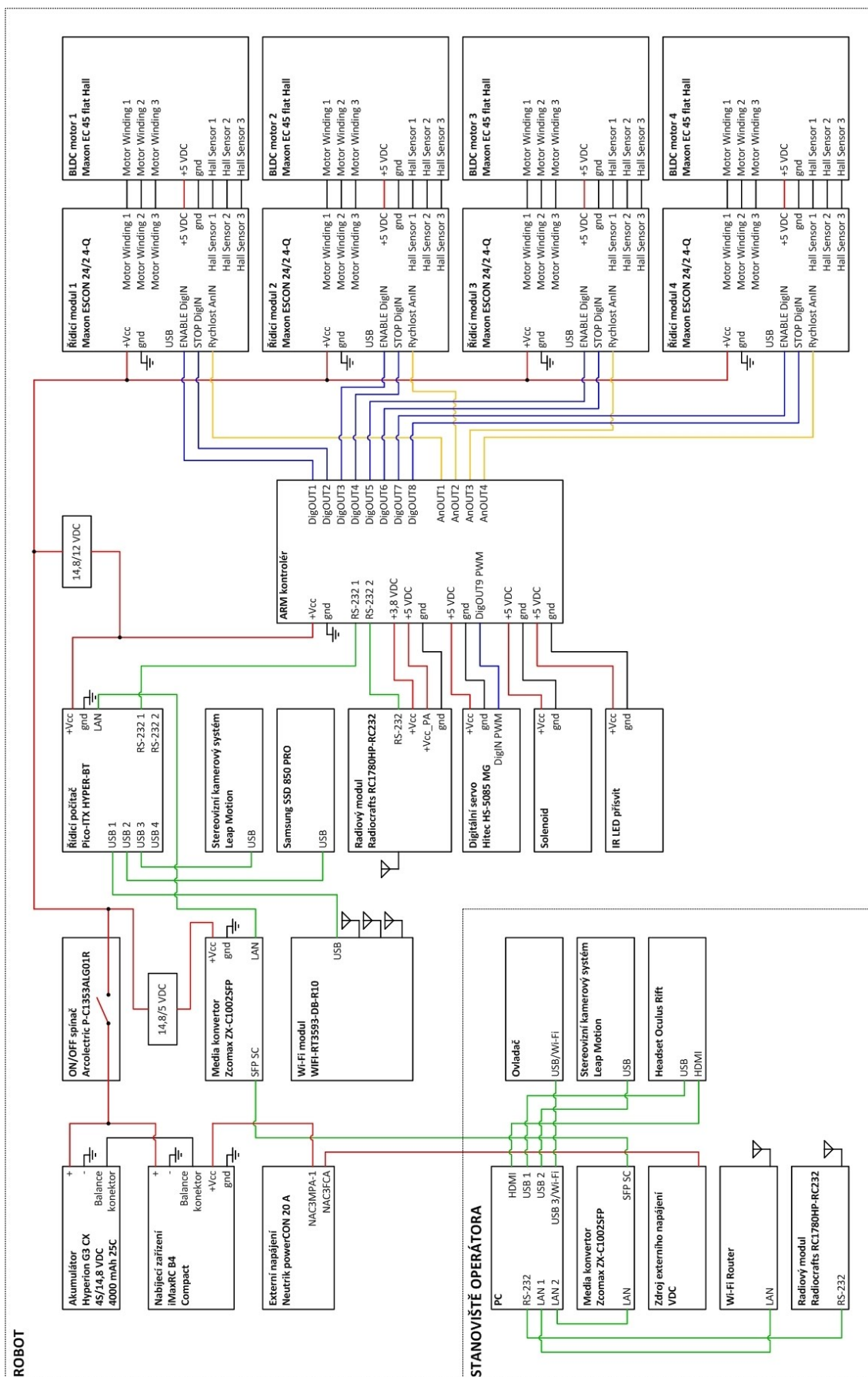
Návrh uvažuje pouze zapojení dosud vybraných komponent. Systém může být v průběhu doplněn o další prvky sloužící např. pro monitoring stavu uvnitř robotu, signalizaci apod., případně mohou být nahrazeny vhodnějšími.

Stanoviště operátora

Níže uvedené schéma představuje možné zapojení vybraných komponent v robotu a spojení se stanovištěm operátora. Stanoviště operátora sestává z počítače, ke kterému jsou připojena ostatní zařízení. Media konvertor převádí elektrické signály na optické a naopak, slouží pro realizaci komunikace pomocí přenosu dat přes optické vlákno. Zařízení je použito v páru, kdy je druhý kus umístěn v robotu. Podrobný popis konkrétního typu je uveden v podkapitole 7.4. Dále je součástí stanoviště zdroj externího napájení VDC, jehož napětí musí být dostačující nejen pro provoz při napájení přes kabel, ale také pro nabíjení akumulátoru. Pro bezdrátovou komunikaci přes Wi-Fi je použit Wi-Fi router a pro radiovou modul Radiocrafts, který je použit v páru. Pro ovládání robotu slouží ovladač, např. gamepad, který může být připojen k PC přes USB, případně komunikovat bezdrátově přes Wi-Fi. Headset Oculus Rift slouží pro vizualizaci výstupu ze stereovizního kamerového systému Leap Motion do 3D. V tomto zapojení je uvažováno použití Leap Motion nejen na robotu, ale také na headsetu za účelem rozšíření možností ovládání a zvýšení komfortu, kdy operátor nemusí manipulovat s headsetem pro orientaci v okolním prostoru. Rozšířené možnosti ovládání jsou popsány v předchozí kapitole.

Robot

Externí napájení je do robotu přivedeno přes metalickou kabeláž spolu s použitím konektorů Neutrik powerCON 20 A. Pro připojení kabelu komunikace je použit SC-SC adaptér. Uvažovány jsou dvě možnosti provozu. První možnost je napájení robotu akumulátorem, druhá pak napájení přes kabel, kdy je současně nabíjen akumulátor. Podobně jako je tomu u laptopů. Nabíjení zajišťuje zařízení iMaxRC B4 Compact, které je upraveno pro tuto potřebu. Alternativou je použití nabíjecího zařízení, které navrhuje Jan Jochec ve své bakalářské práci Energetické zdroje MR. Řídící počítač robotu je použit především kvůli náročnosti zpracování a přenosu obrazu. Kromě stereovizního kamerového systému a SSD je přes USB konektor připojen Wi-Fi modul se třemi anténami. Přes sériový port je připojen kontrolér ARM s požadovanými vstupy a výstupy. Tato problematika a případná realizace je konzultována s Ing. Jánem Babjakem, Ph.D. Ke kontroléru je dále připojen radiový modul Radiocrafts, digitální mikroservo sloužící pro naklápění kamerového systému, solenoid a IR LED přísvit. Kontrolér disponuje analogovými a digitálními výstupy, které jsou připojeny na řídicí moduly Maxon ESCON 24/2 4-Q. Analogový signál slouží pro regulaci rychlosti a změnu směru pohybu, kdy hodnota značí rychlost a znaménko směr pohybu. Každý řídicí modul disponuje analogovými diferenciálními vstupy s rozsahem ± 10 VDC. Pomocí digitálního signálu je ovládání povolení, případně zastavení robotu. Pro řízení a informaci o poloze slouží Hallové senzory, kterými jsou použité motory již osazené.

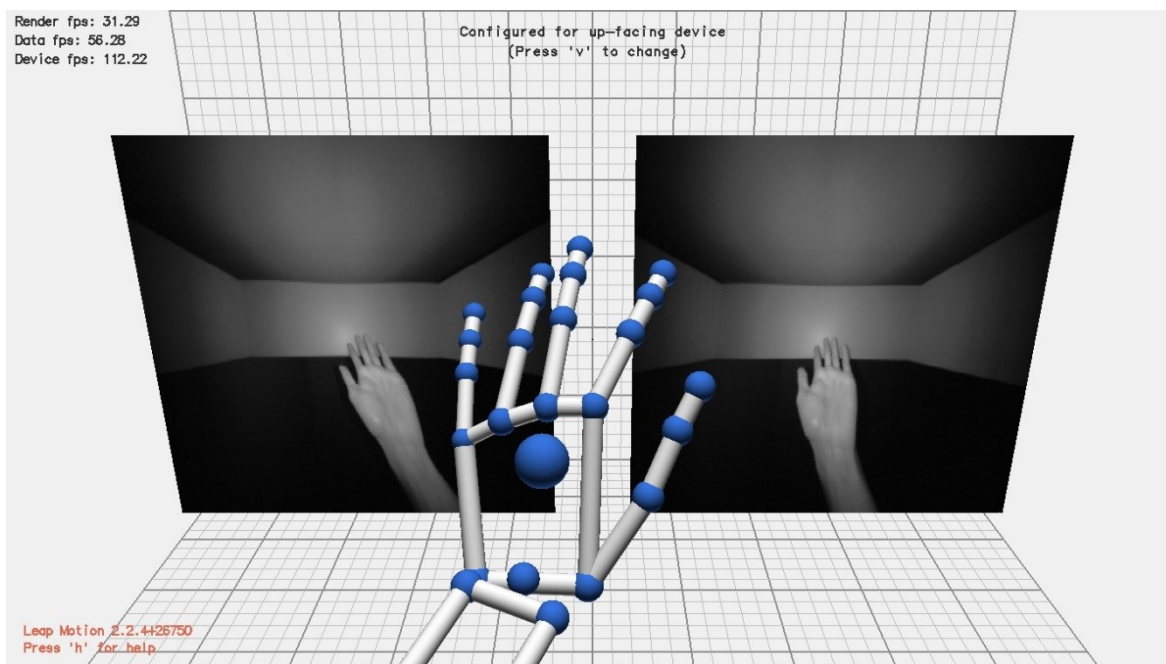


Obr. 11-1 Schéma zapojení komponent

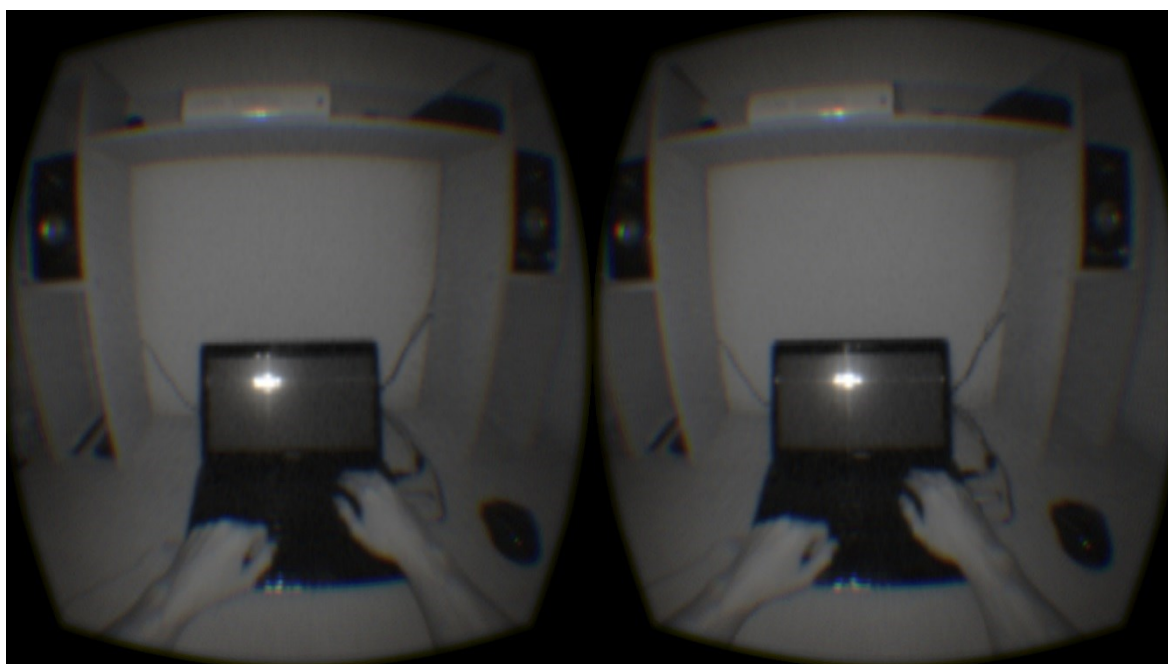
12 Testování zařízení Leap Motion

Návod na instalaci softwaru a potřebné kroky jsou uvedeny v příloze B. Na níže uvedeném snímku je prostředí Visualizer, které je přímo součástí softwaru pro Leap Motion. Prostředí zobrazuje nejen obrazový výstup kamer, ale také zjednodušené skeletony rukou nad zařízením, rychlost snímkování kamer a další.

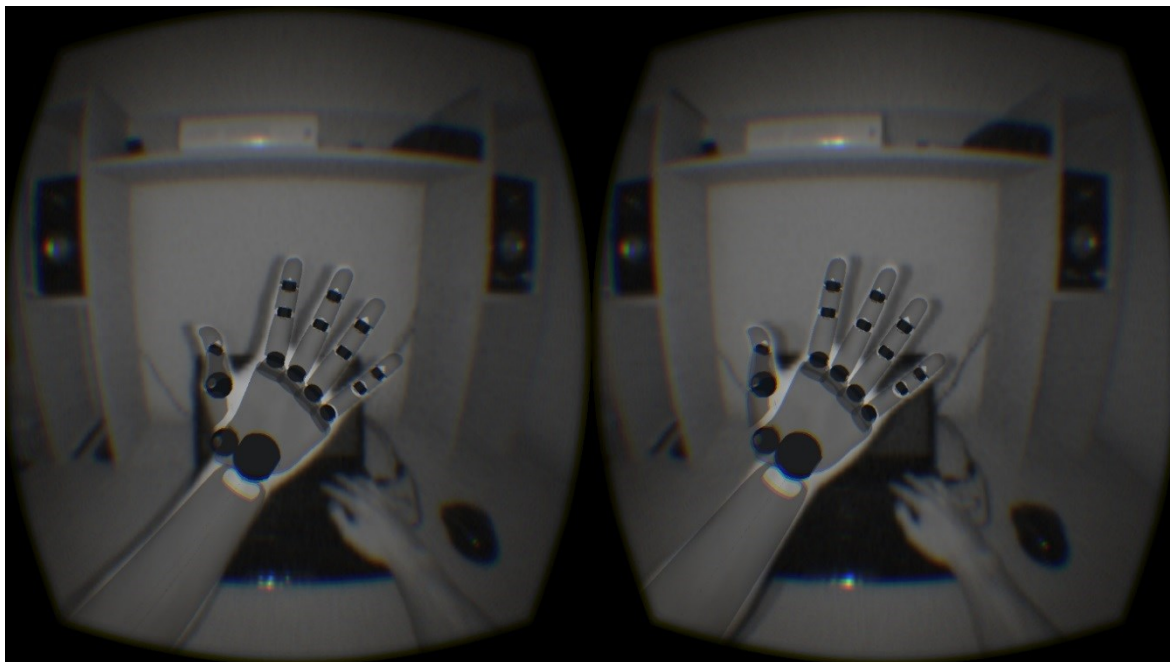
12.1 Testování prostředí



Obr. 12-1 Visualizer

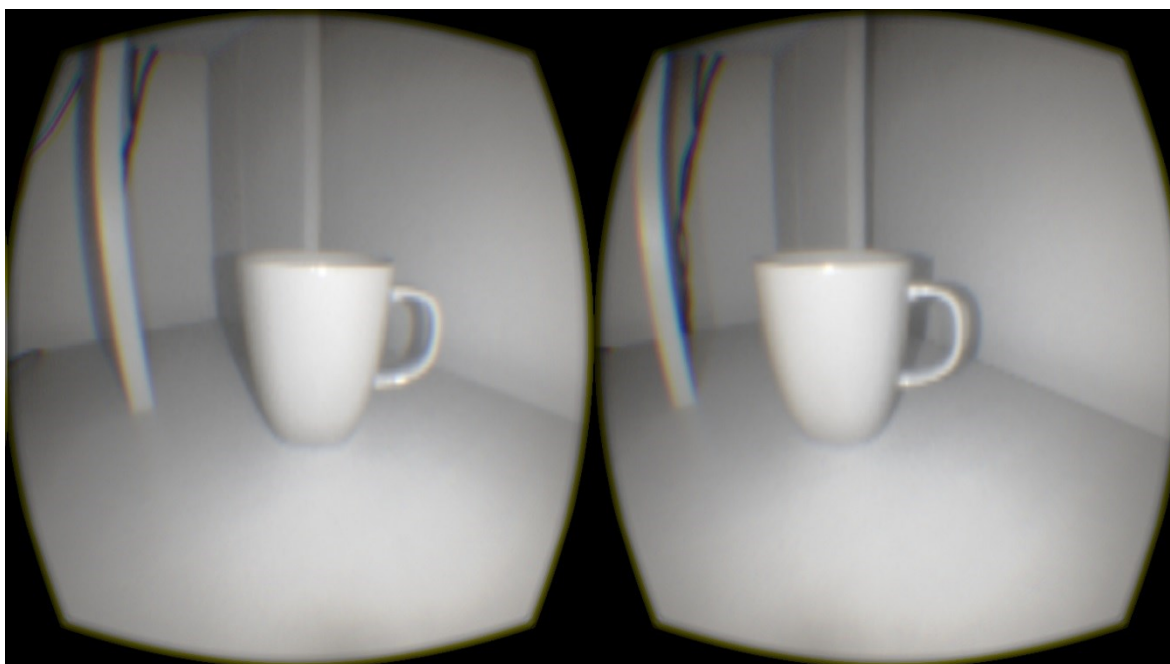


Obr. 12-2 Oculus Passthrough

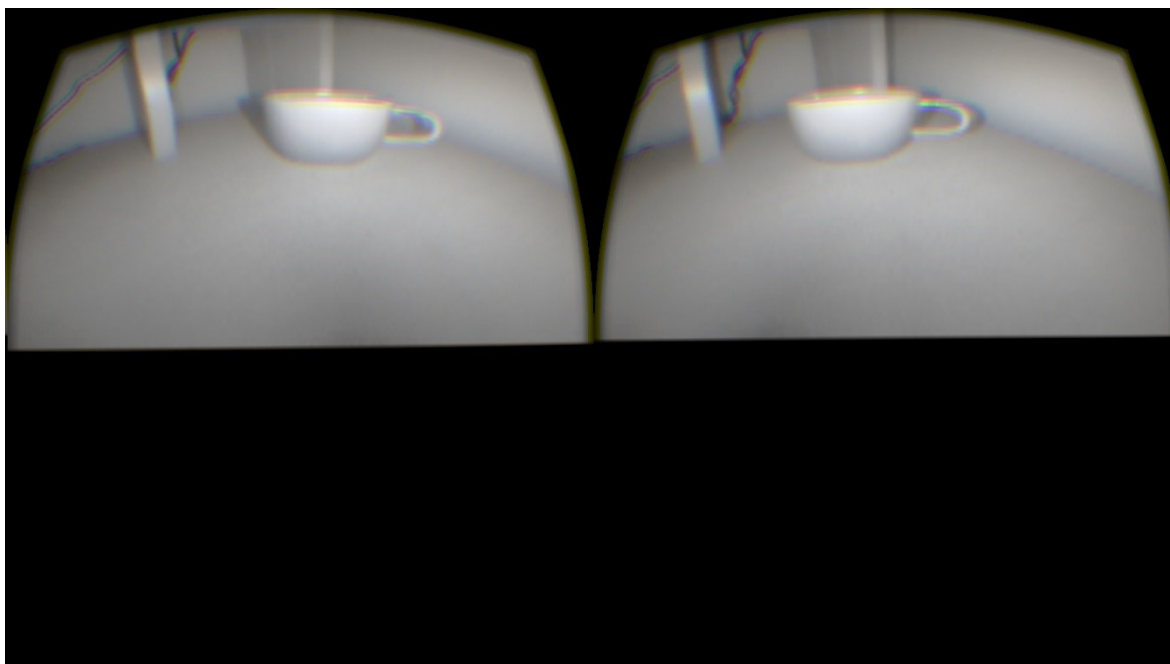


Obr. 12-3 Oculus Passthrough

Aplikace Oculus Passthrough umožňuje nejen úpravu a přenos obrazového výstupu do headsetu Oculus Rift, ale také detekci pohybu rukou. Během testování se projevila občasná deformace obrazu. Není známa přesná příčina, nejčastěji k ní však docházelo při přímém osvětlení slunečním zářením. Tento jev je zobrazen na níže uvedených snímcích. V prostředí Visualizer k deformaci obrazu nedochází.



Obr. 12-4 Správný obraz



Obr. 12-5 Deformace obrazu

12.2 Testovací snímky podvozku

Snímky jsou pořízeny na automobilu Volkswagen Golf MK3. Automobil je při testování v nezátíženém stavu a zaparkován na rovné ploše. Výška podvozku je závislá mimo jiné také na rozměrech disků a pneumatik. Během testování mění Leap Motion svou vzdálenost vůči podvozku pouze ve směru osy Z s krokem 10 mm. Tímto je simulována změna výšky podvozku bez nutnosti zvedání vozidla. Drobné odchylky pozice ve směrech os X a Y jsou zapříčiněny změnou kroku. Nejkritičtější situace pro kamerový systém nastává tehdy, kdy je výška podvozku automobilu rovna 100 mm, tedy maximální přípustné výšce podvozku robotu. V této situaci je vzdálenost mezi krycím sklem Leap Motion a podvozkem automobilu přibližně 30 mm. Tato vzdálenost je závislá mimo jiné na deformaci pneumatik v místě kontaktu s povrchem.

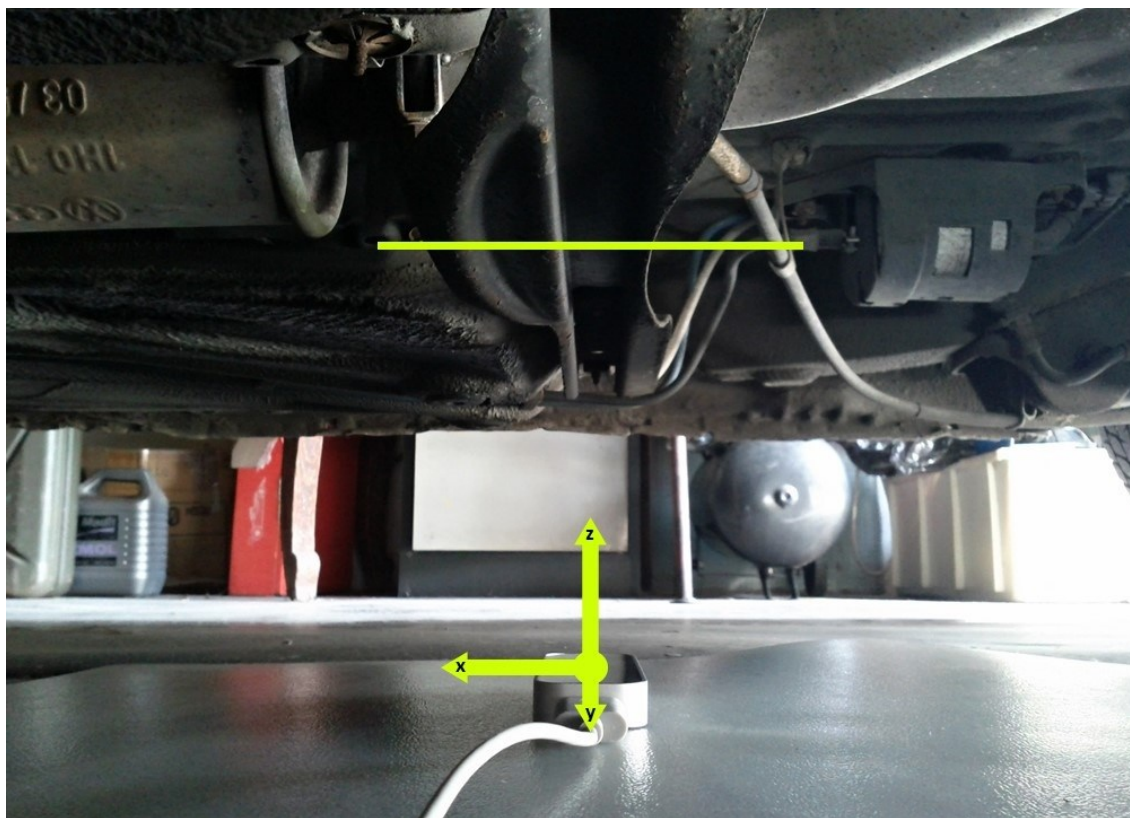


Obr. 12-6 Volkswagen Golf MK3 [59]

Tab. 12-1 Volkswagen Golf MK3

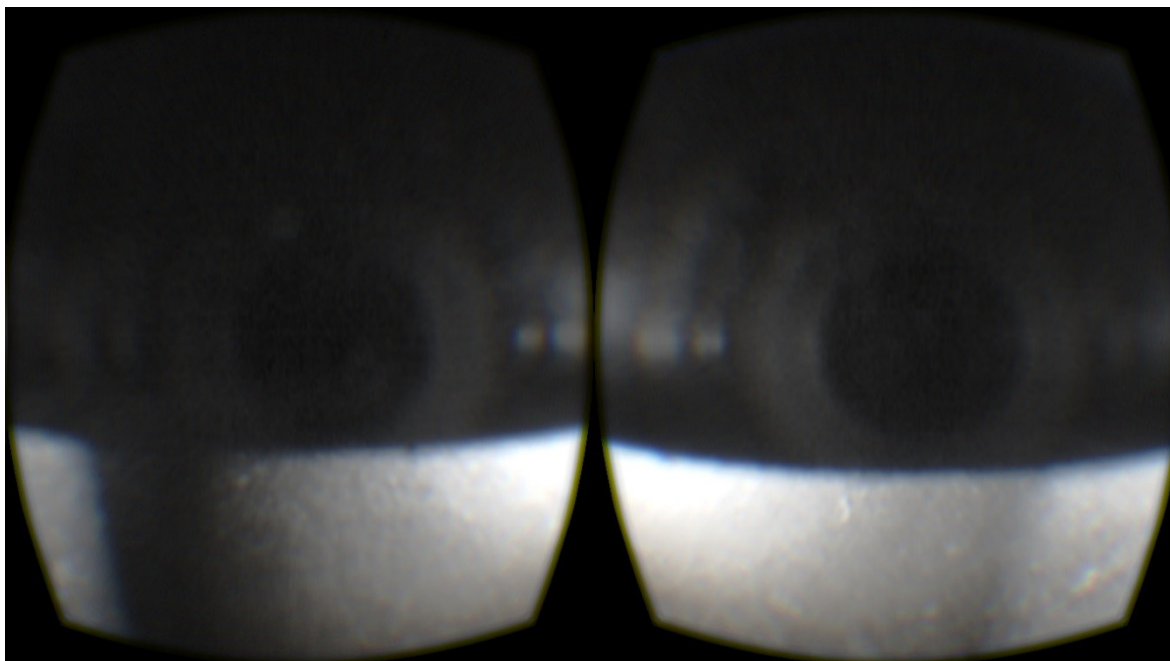
| Volkswagen Golf MK3 | |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| Karoserie | Hatchback |
| Motor | Zážehový čtyřválec |
| Zdvihový objem | 1598 cm ³ |
| Max. výkon/otáčky | 55 kW/5 200 min ⁻¹ |
| Celková délka | 4 020 mm |
| Celková šířka | 1 695 mm |
| Celková výška | 1 405 mm |
| Rozvor | 2 475 mm |
| Provozní hmotnost | 1 192 kg |
| Max. technicky přípustná hmotnost | 1 525 kg |

Počátek kartézské pravotočivé soustavy souřadnic je umístěn ve středu Leap Motion a rovina XY je totožná s krycím sklem zařízení, viz níže. Vzdálenost je vztažena k nejnižšímu místu vzpěry nad Leap Motion. Pořízené snímky jsou vyobrazeny v rovině XY a obraz není dále upravován z důvodu minimalizace zkreslení výsledků testování. Podvozek je osvětlován pouze zabudovanými IR LED v Leap Motion a zbytkovou IR složkou slunečního záření.



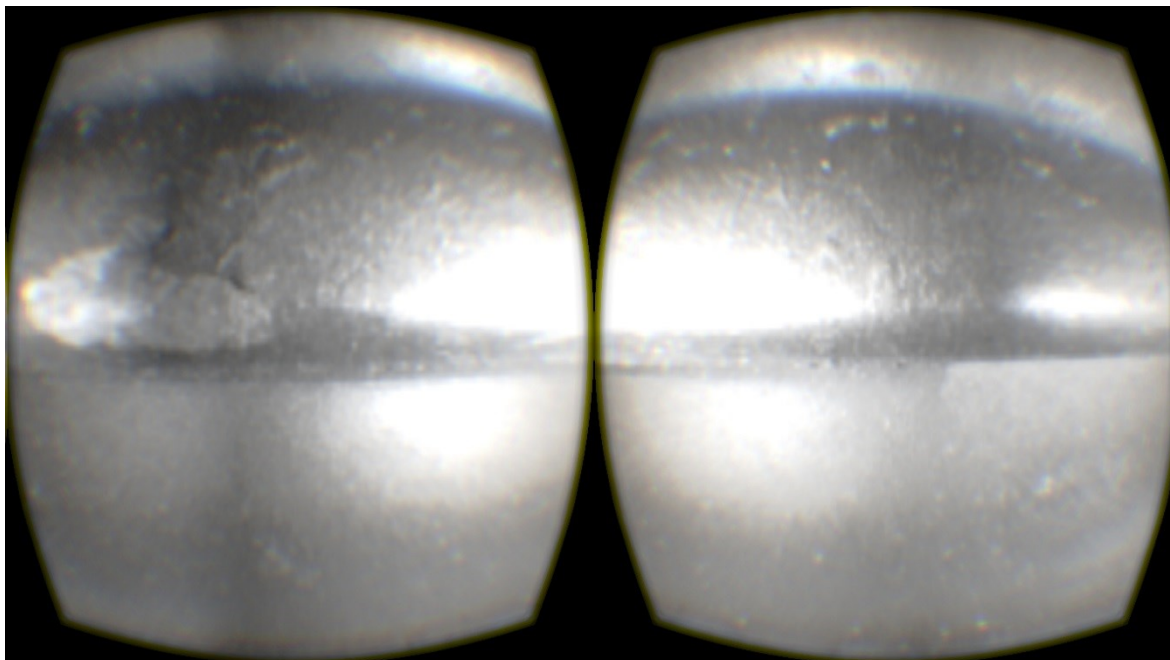
Obr. 12-7 Testovací stanoviště

Vzdálenost od vzpěry: **10 mm** (Na snímku je patrné zachycení samotných kamer, ke kterému dochází při velmi krátkých vzdálenostech.)



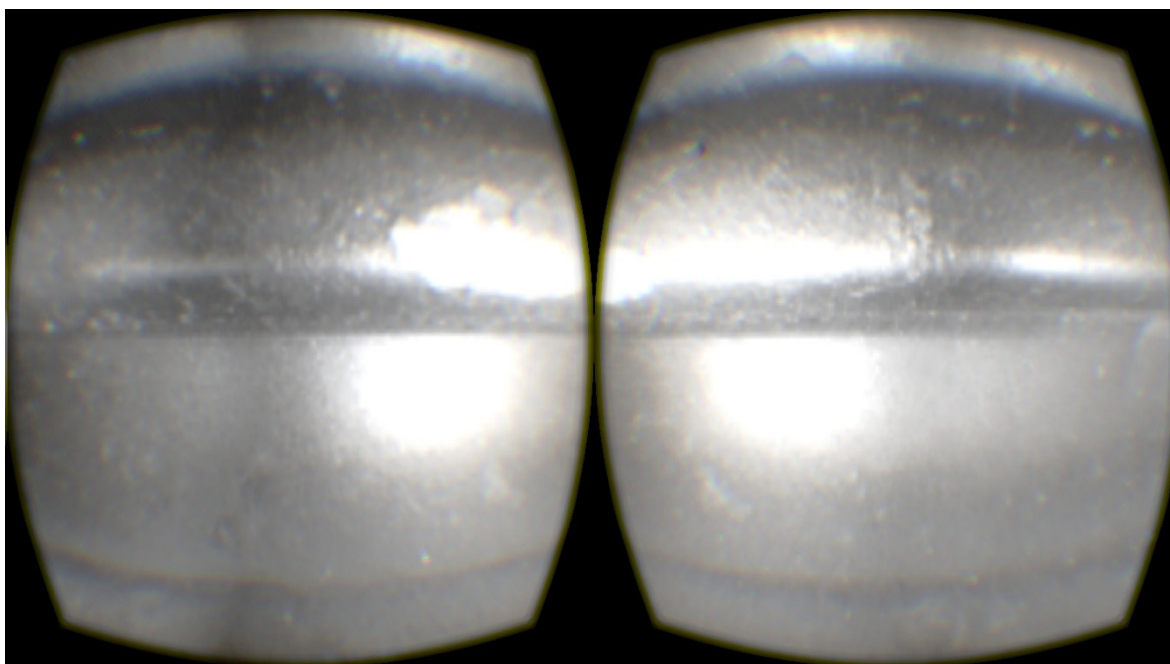
Obr. 12-8 Testovací snímek 10 mm

Vzdálenost od vzpěry: **20 mm**



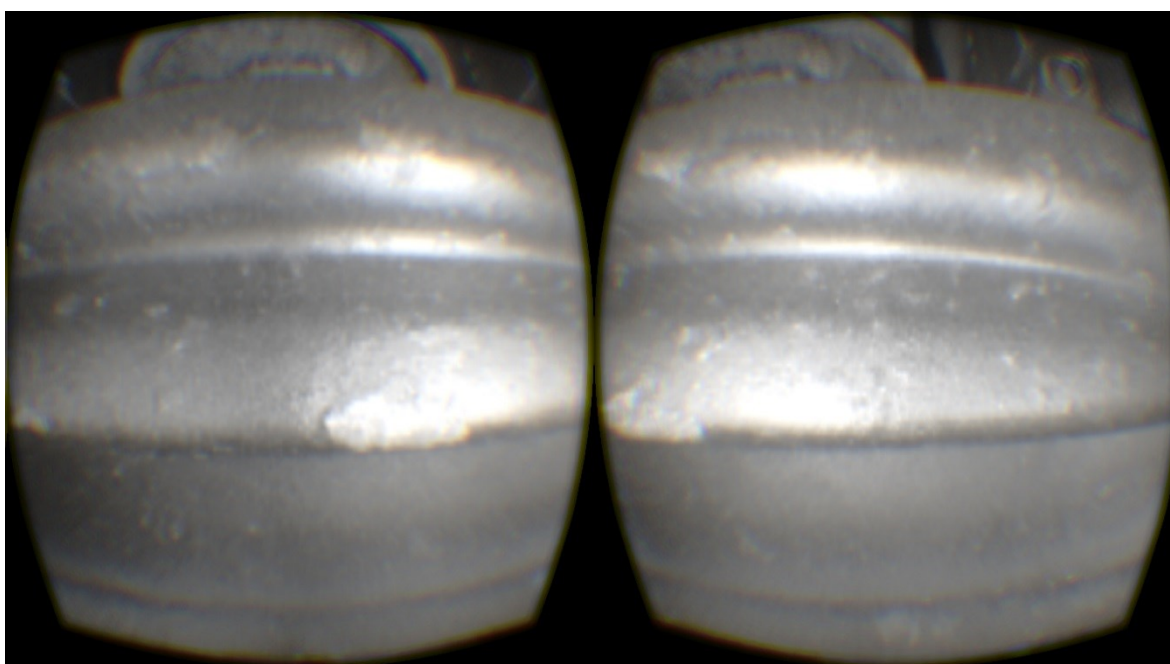
Obr. 12-9 Testovací snímek 20 mm

Vzdálenost od vzpěry: **30 mm** (odpovídá výšce podvozku automobilu **100 mm**)



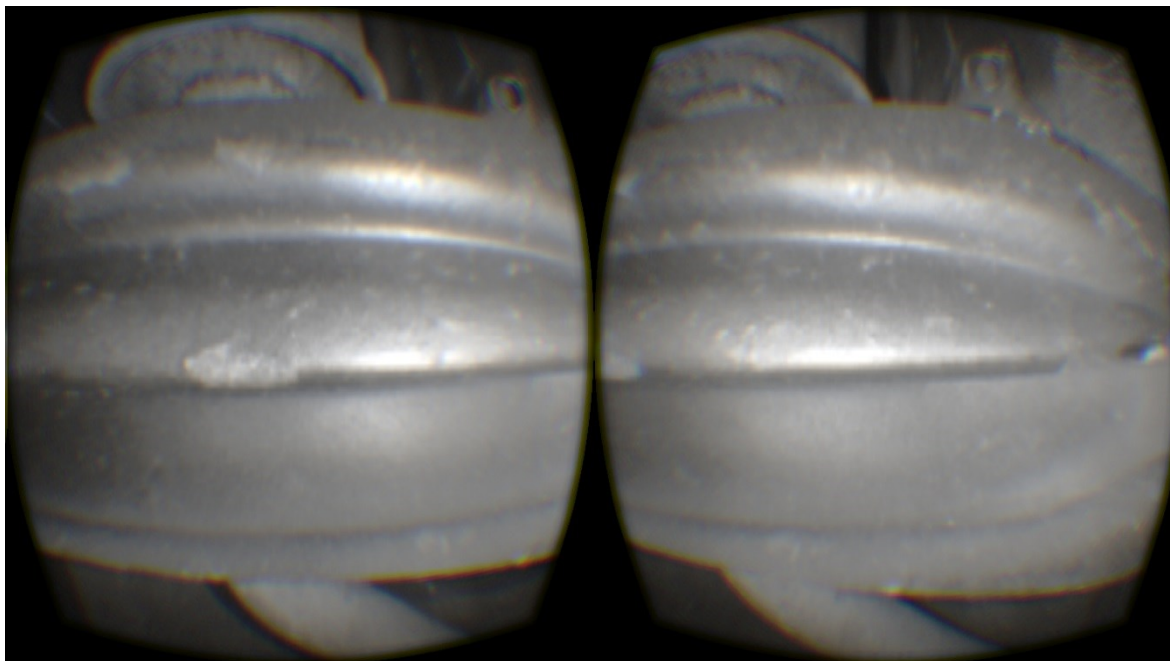
Obr. 12-10 Testovací snímek 30 mm

Vzdálenost od vzpěry: **40 mm** (odpovídá výšce podvozku automobilu **110 mm**)



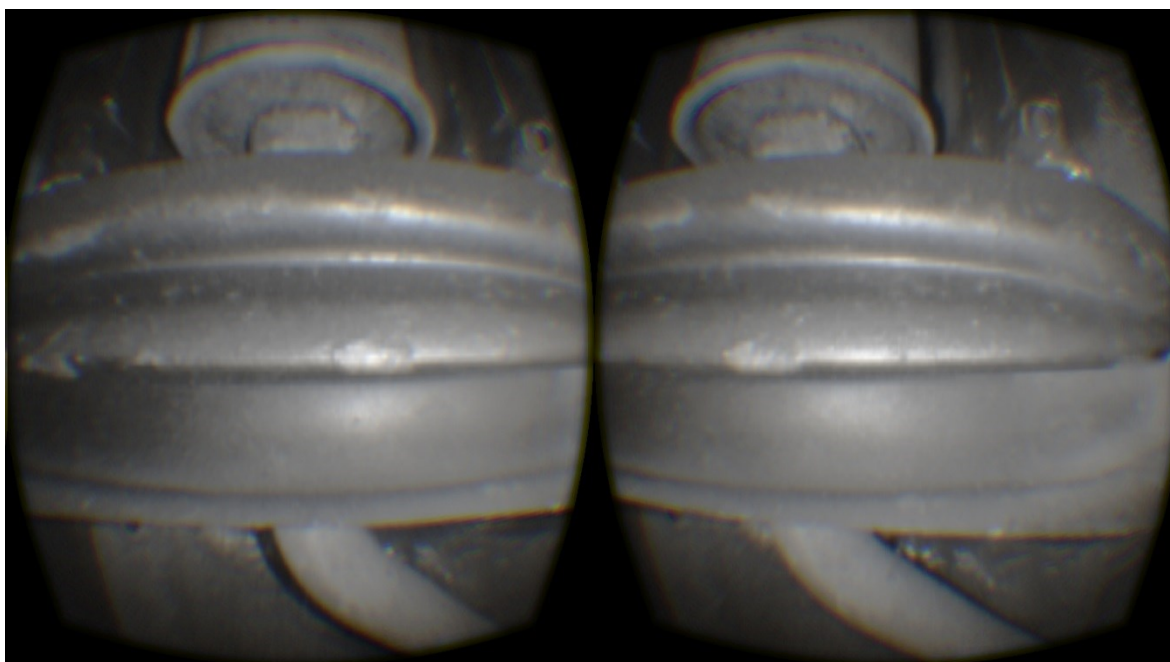
Obr. 12-11 Testovací snímek 40 mm

Vzdálenost od vzpěry: **50 mm** (odpovídá výšce podvozku automobilu **120 mm**)



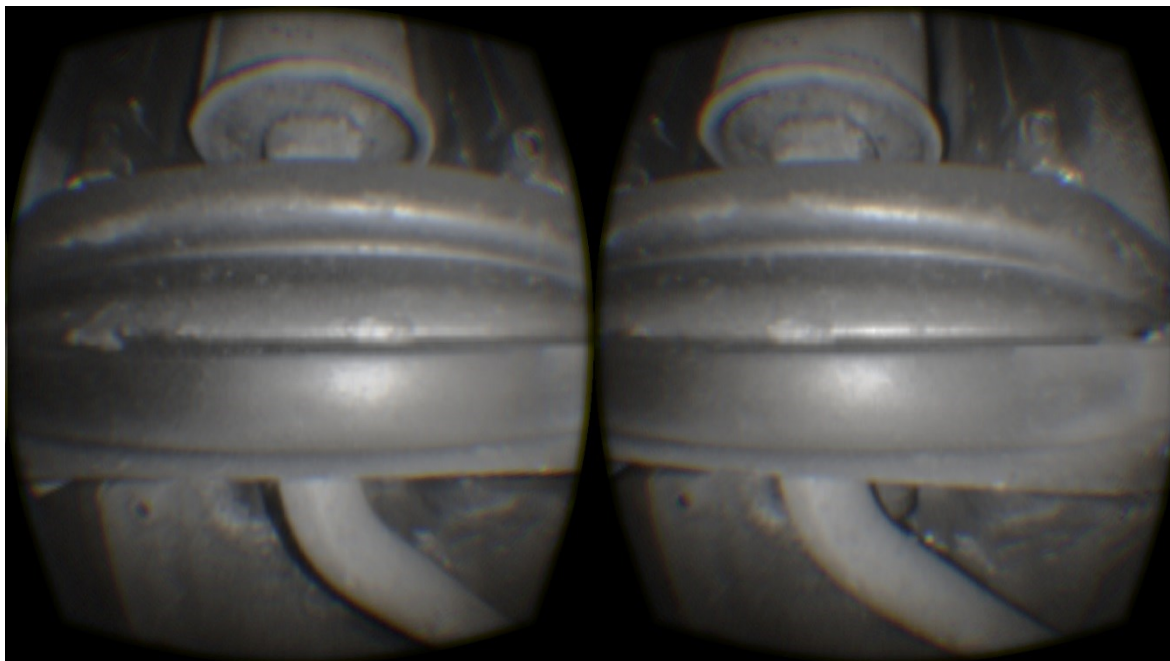
Obr. 12-12 Testovací snímek 50 mm

Vzdálenost od vzpěry: **60 mm** (odpovídá výšce podvozku automobilu **130 mm**)



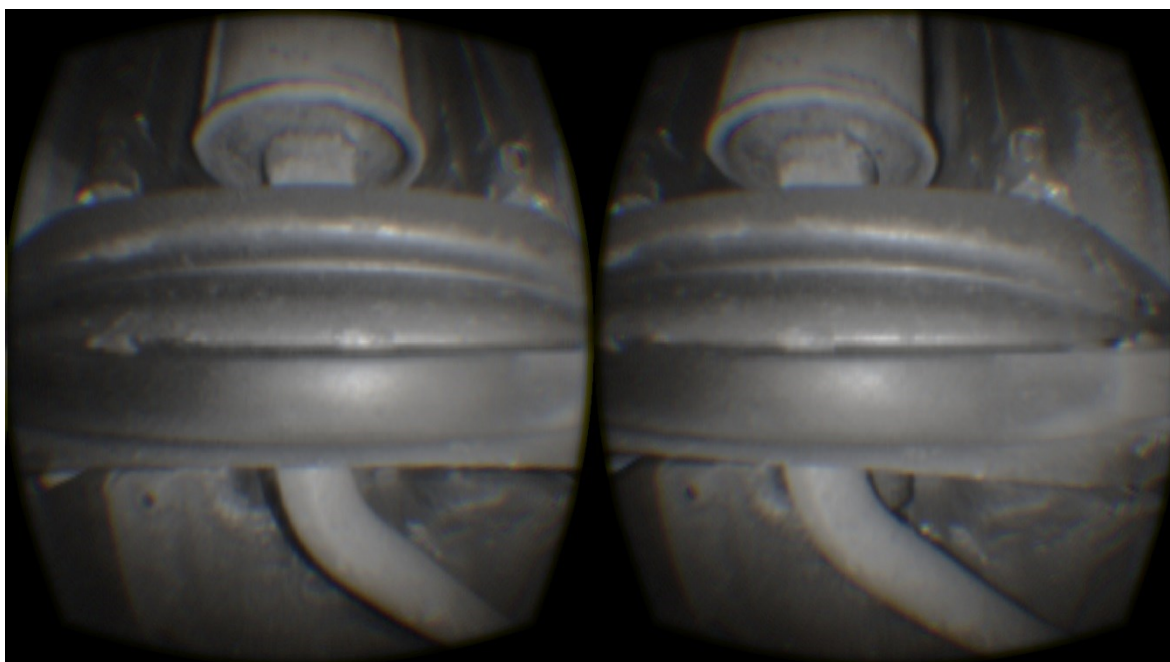
Obr. 12-13 Testovací snímek 60 mm

Vzdálenost od vzpěry: **70 mm** (odpovídá výšce podvozku automobilu **140 mm**)



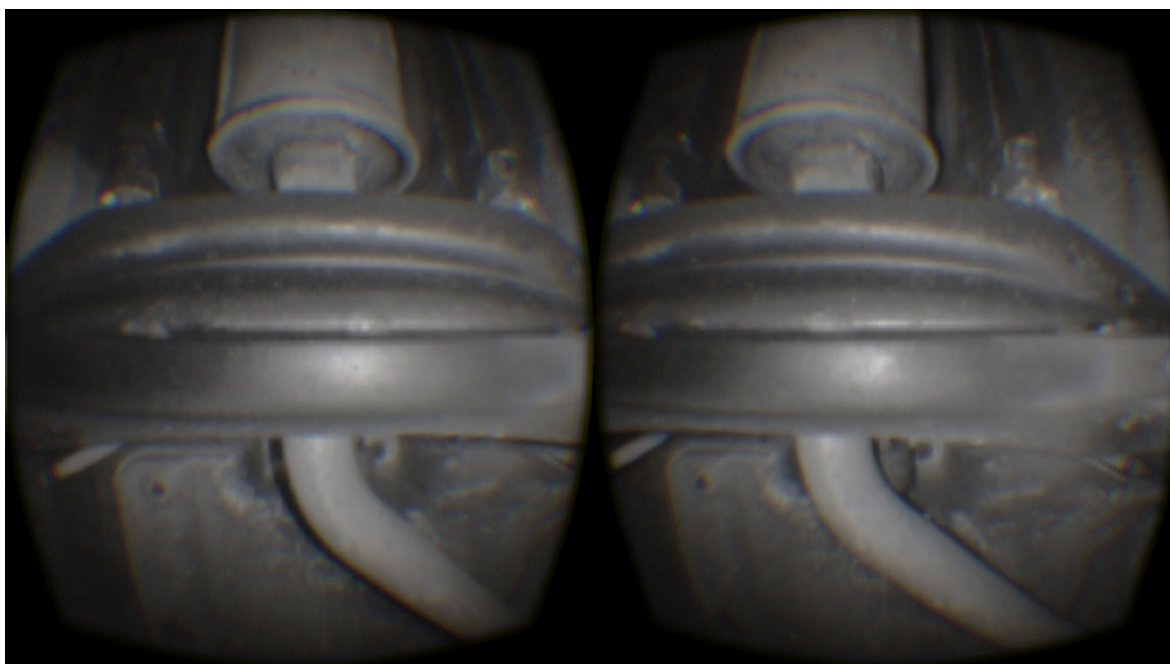
Obr. 12-14 Testovací snímek 70 mm

Vzdálenost od vzpěry: **80 mm** (odpovídá výšce podvozku automobilu **150 mm**)



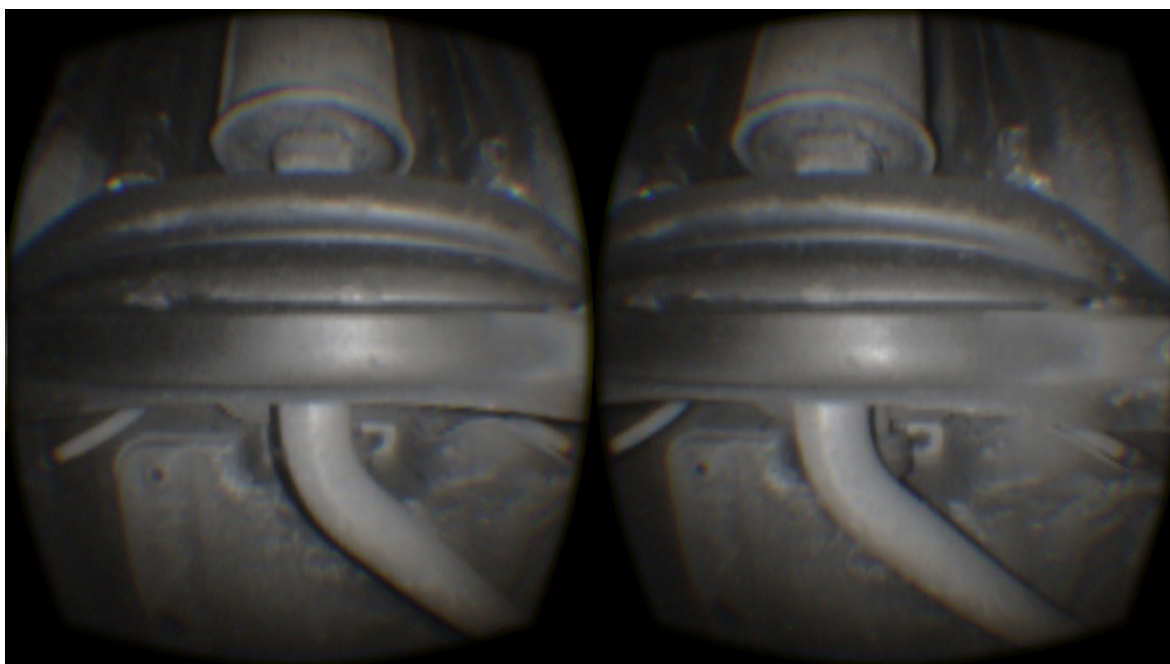
Obr. 12-15 Testovací snímek 80 mm

Vzdálenost od vzpěry: **90 mm** (odpovídá výšce podvozku automobilu **160 mm**)



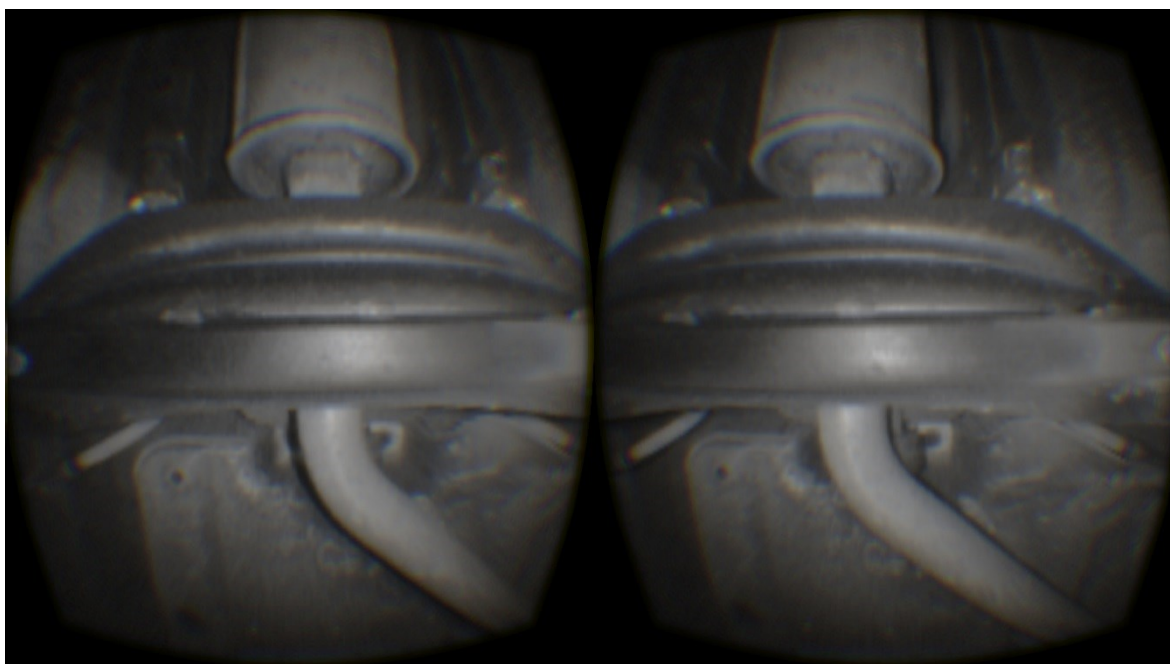
Obr. 12-16 Testovací snímek 90 mm

Vzdálenost od vzpěry: **100 mm** (odpovídá výšce podvozku automobilu **170 mm**)



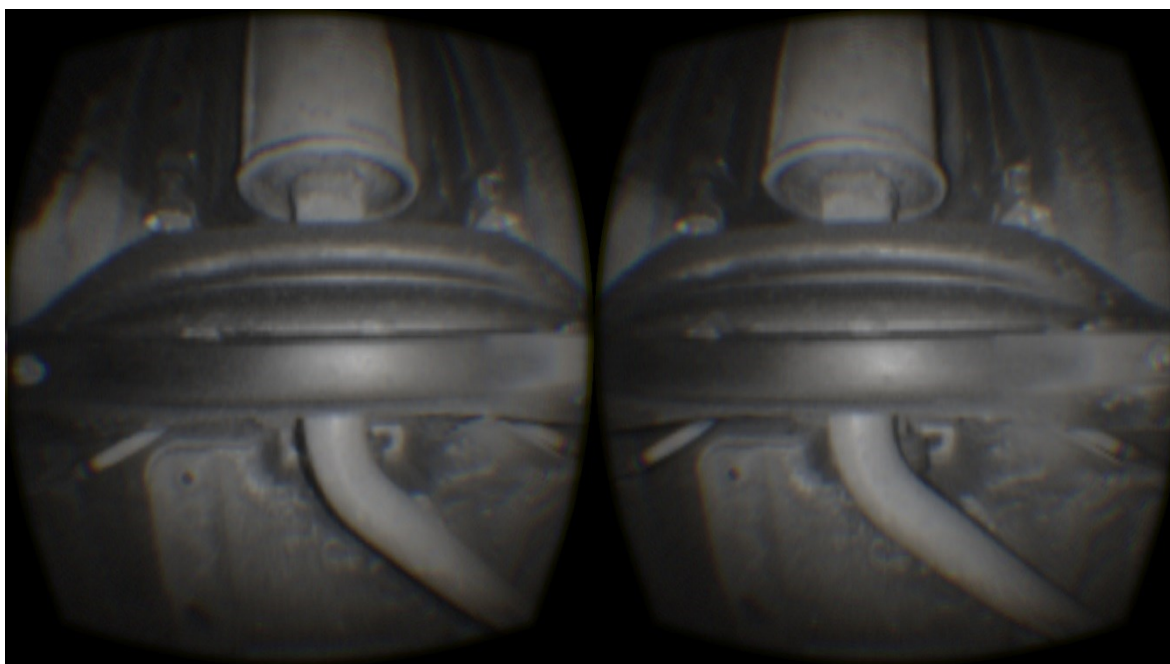
Obr. 12-17 Testovací snímek 100 mm

Vzdálenost od vzpěry: **110 mm** (odpovídá výšce podvozku automobilu **180 mm**)



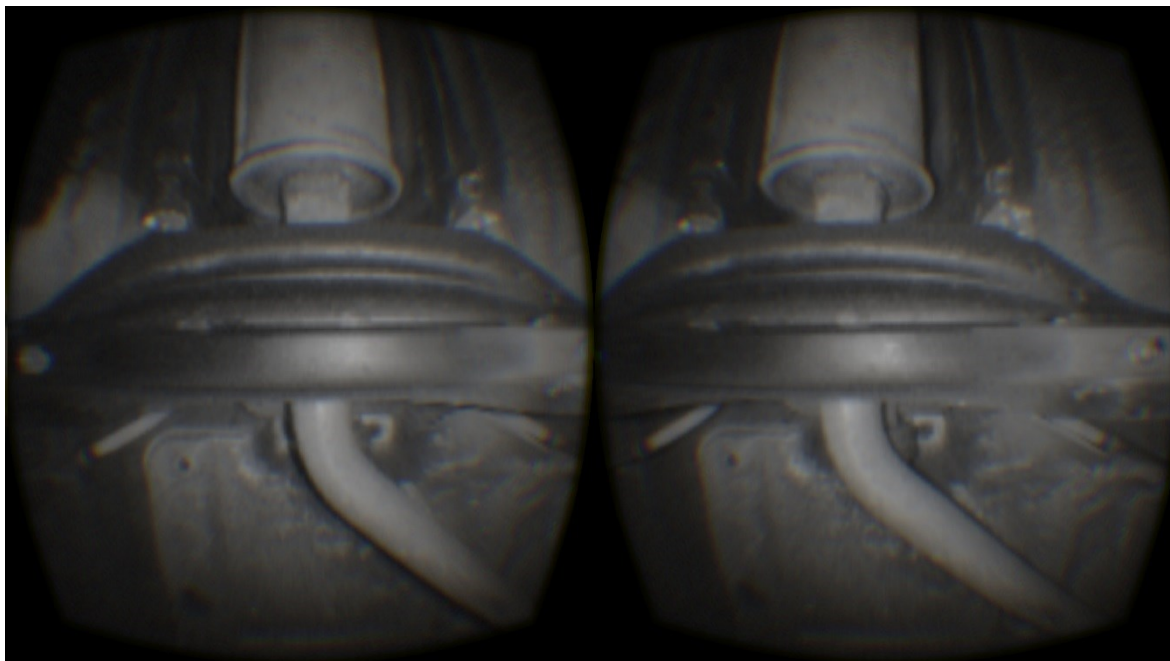
Obr. 12-18 Testovací snímek 110 mm

Vzdálenost od vzpěry: **120 mm** (odpovídá výšce podvozku automobilu **190 mm**)



Obr. 12-19 Testovací snímek 120 mm

Vzdálenost od vzpěry: **130 mm** (odpovídá výšce podvozku automobilu **200 mm**)



Obr. 12-20 Testovací snímek 130 mm

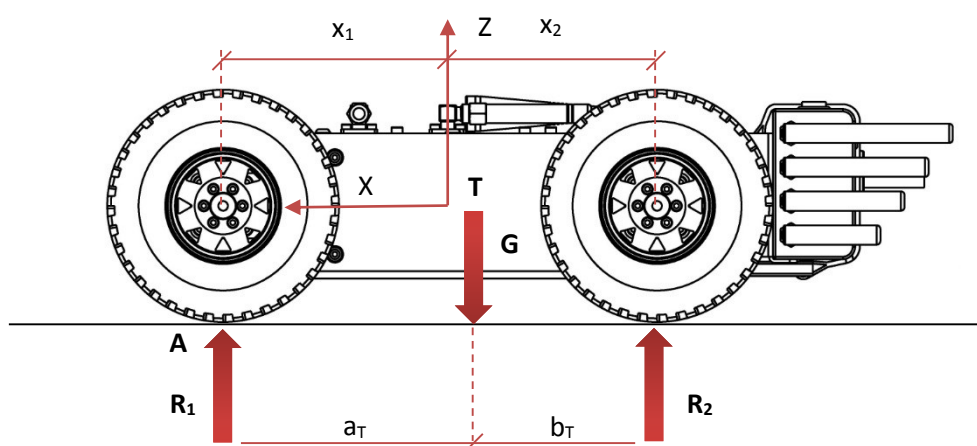
12.3 Zhodnocení testování

Obrazový výstup kamerového systému je dostatečně kvalitní pro zjištění přítomnosti nástražného výbušného systému. Zaostřovací schopnost je dobrá i při nejkritičtějším stavu, kdy je světlá výška podvozku automobilu rovna právě 100 mm a vzdálenost kamerového systému od podvozku je 29,4 mm. Hodnota vzdálenosti je uváděna jako teoretická. Vlivem deformace pneumatik dojde k jejímu zvýšení. Kontrast pořízených snímků je dobrý. Během testování je podvozek osvětlován pouze třemi zabudovanými IR LED. Robot disponuje přídavným přísvitem právě pro situace, kdy může být toto osvětlení nedostačující. Pro minimalizaci zkreslení nejsou snímky dále upravovány. I přes tuto snahu jsou výsledky zkresleny právě rozdělením obrazu do čoček headsetu. Uživatelské zkušenosti s testováním stereovize při této simulaci reálných podmínek jsou kladné.

13 Kontrolní výpočty

13.1 3. Stádium

Kola robotu jsou pomocí příruby napřímo osazena na výstupní hřídel převodovky. Maximální hodnota radiálního zatížení je 120 N ve vzdálenosti 10 mm od příruby převodovky. Pro výpočet je použita hmotnost a těžiště robotu včetně rušičky signálu. Poloha těžiště je stanovena pomocí softwaru PTC Creo Parametric. Hodnoty posunu ve směrech os Y a Z jsou zanedbány.



Obr. 13-1 Silové působení

Tab. 13-1 Výpočet radiálního zatížení

| Výpočet radiálního zatížení | Značení | Hodnota |
|---|---------|-----------------------------|
| Hmotnost robotu včetně rušičky signálu | m_R | 4,2 kg |
| Normální tíhové zrychlení | g | 9,80665 m · s ⁻² |
| Vzdálenost souřadného systému od osy předního kola | x_1 | 0,094 m |
| Vzdálenost souřadného systému od osy zadního kola | x_2 | 0,086 m |
| Vzdálenost těžiště od osy předního kola | a_T | 0,109 m |
| Vzdálenost těžiště od osy zadního kola | b_T | 0,071 m |
| Vzdálenost působíště reakce R_{zk} od středu uložení hřídele převodovky | c | 0,031 m |
| Vzdálenost působíště reakce $R_{př}$ od středu uložení hřídele převodovky | d | 0,012 m |

$$\sum F_Z = R_1 + R_2 - G = 0 \quad (13.1)$$

$$\sum M_A = M_G - M_{R_2} = 0 \quad (13.2)$$

$$G \cdot a_T - R_2 \cdot (a_T + b_T) = 0 \quad (13.3)$$

$$m_R \cdot g \cdot a_T - R_2 \cdot (a_T + b_T) = 0 \quad (13.4)$$

$$R_2 = \frac{m_R \cdot g \cdot a_T}{a_T + b_T} = \frac{4,2 \cdot 9,80665 \cdot 0,109}{0,109 + 0,071} = 24,94 \text{ N} \quad (13.5)$$

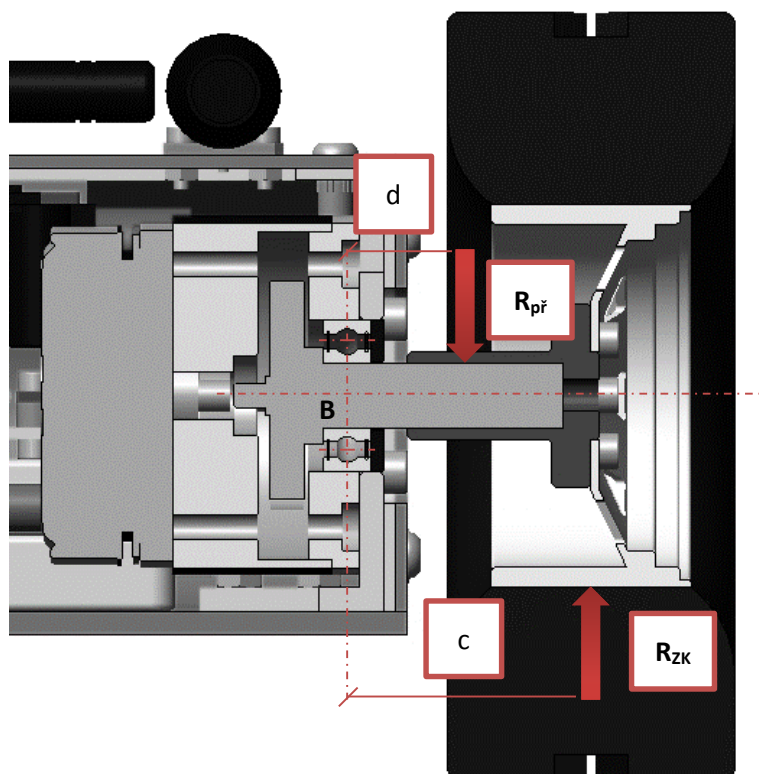
$$R_1 = G - R_2 = m_R \cdot g - R_2 = 4,2 \cdot 9,80665 - 24,94 = 16,25 \text{ N} \quad (13.6)$$

Reakce se dále rozloží na jednotlivá kola podvozku.

$$R_{PK} = \frac{R_1}{2} = \frac{16,25}{2} = 8,13 \text{ N} \quad (13.7)$$

$$R_{ZK} = \frac{R_2}{2} = \frac{24,94}{2} = 12,47 \text{ N} \quad (13.8)$$

Dále jsou hodnoty reakcí vyčísleny na vzdálenost 10 mm od příruby převodovky. Pro výpočet je použita reakce vyšší hodnoty R_{ZK} . Její působíště je uvažováno ve středu disku kola. Délky ramen jsou vztaženy ke středu uložení hřídele.



Obr. 13-2 Řez uložením zadního kola

$$\sum M_B = R_{ZK} \cdot c - R_{př} \cdot d = 0 \quad (13.9)$$

$$R_{př} = \frac{R_{ZK} \cdot c}{d} = \frac{12,47 \cdot 0,031}{0,012} = 32,21 \text{ N} < 120 \text{ N} \quad (13.10)$$

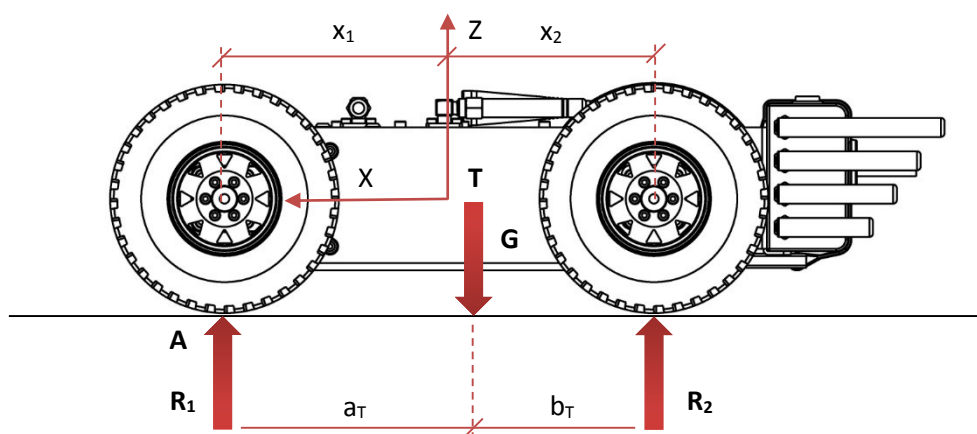
Přestože zatížení převodovky vyhovuje, uložení pouze v jednom ložisku není optimální. Může tak dojít k poškození nejen převodovky, ale také motoru. Proto je uložení hřídele doplněno o druhé ložisko stejných rozměrů. Při výběru je nejprve vybíráno ze sortimentu výrobce ZKL, jehož ložiska jsou v porovnání s jinými výrobci, levnější. ZKL však ložisko požadovaných rozměrů nenabízí. Je tedy vybráno jednořadé radiální kuličkové ložisko SKF 619/8-2RS1 s kontaktním těsněním po obou stranách, které má zvýšenou ochranu proti průniku prachu a vody.

13.2 4. Stádium

Tab. 13-2 Ložisko SKF 619/8-2RS1

| Ložisko SKF 619/8-2RS1 | |
|---------------------------------------|--------------------------|
| Dynamická únosnost C | 1,9 kN |
| Statická únosnost C ₀ | 0,74 kN |
| Mezní únavové zatížení P _u | 0,031 kN |
| Mezní otáčky | 24 000 min ⁻¹ |

Poloha těžiště je stanovena pomocí softwaru PTC Creo Parametric. Hodnoty posunu ve směrech os Y a Z jsou zanedbány.



Obr. 13-3 Silové působení



Tab. 13-3 Výpočet radiálního zatížení

| Výpočet radiálního zatížení | Značení | Hodnota |
|---|---------|-----------------------------|
| Hmotnost robotu včetně rušičky signálu | m_R | 4,3 kg |
| Normální tíhové zrychlení | g | 9,80665 m · s ⁻² |
| Vzdálenost souřadného systému od osy předního kola | x_1 | 0,094 m |
| Vzdálenost souřadného systému od osy zadního kola | x_2 | 0,087 m |
| Vzdálenost těžiště od osy předního kola | a_T | 0,109 m |
| Vzdálenost těžiště od osy zadního kola | b_T | 0,072 m |
| Vzdálenost působíště reakce R_{ZK} od středu ložiska hřídele převodovky | e | 0,031 m |
| Vzdálenost působíště reakce R_{L2} od středu ložiska hřídele převodovky | f | 0,007 m |

$$\sum F_Z = R_1 + R_2 - G = 0 \quad (13.11)$$

$$\sum M_A = M_G - M_{R_2} = 0 \quad (13.12)$$

$$G \cdot a_T - R_2 \cdot (a_T + b_T) = 0 \quad (13.13)$$

$$m_R \cdot g \cdot a_T - R_2 \cdot (a_T + b_T) = 0 \quad (13.14)$$

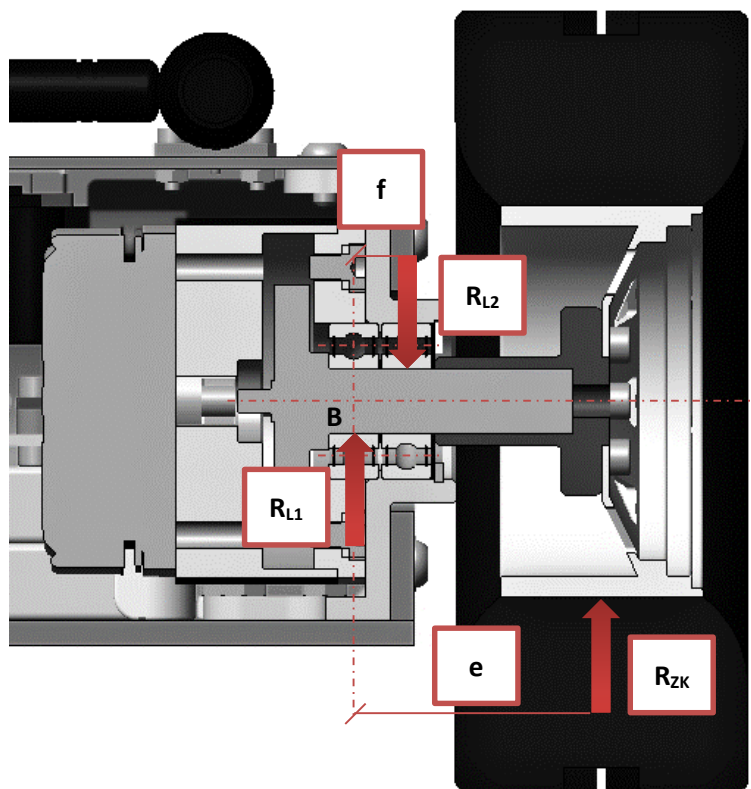
$$R_2 = \frac{m_R \cdot g \cdot a_T}{a_T + b_T} = \frac{4,3 \cdot 9,80665 \cdot 0,109}{0,109 + 0,072} = 25,39 \text{ N} \quad (13.15)$$

$$R_1 = G - R_2 = m_R \cdot g - R_2 = 4,3 \cdot 9,80665 - 25,39 = 16,78 \text{ N} \quad (13.16)$$

Reakce se dále rozloží na jednotlivá kola podvozku.

$$R_{PK} = \frac{R_1}{2} = \frac{16,78}{2} = 8,39 \text{ N} \quad (13.17)$$

$$R_{ZK} = \frac{R_2}{2} = \frac{25,39}{2} = 12,70 \text{ N} \quad (13.18)$$



Obr. 13-4 Řez uložením zadního kola

$$\sum F_Z = R_{L1} + R_{ZK} - R_{L2} = 0 \quad (13.19)$$

$$\sum M_B = R_{ZK} \cdot e - R_{L2} \cdot f = 0 \quad (13.20)$$

$$R_{L2} = \frac{R_{ZK} \cdot e}{f} = \frac{12,70 \cdot 0,031}{0,007} = 56,24 \text{ N} \quad (13.21)$$

$$R_{L1} = R_{L2} - R_{ZK} = 56,24 - 12,70 = 43,54 \text{ N} \quad (13.22)$$

Pro kontrolu ložiska je použita reakce R_{L2} . Při zatačení robotu, který je řízen diferenčně, vznikají smykové síly. Axiální síla, která při tomto způsobu řízení může vznikat, je zohledněna hodnotou 30 N. Maximální dynamické axiální zatížení hřídele převodovky činí 60 N. Pro kontrolu ložiska je použit software MITCalc, který obsahuje knihovnu ložisek SKF.

Valivá ložiska SKF

i Výpočet bez chyb.

ii ☐ Informace o projektu

Kapitola vstupních parametrů

1.0 ☒ Volba typu ložiska, zatížení ložiska

1.1 Jednotky výpočtu SI Units (N, mm, kW...)

1.2 Typ ložiska Kuličková ložiska jednořadá

1.7 Zatížení ložiska **Proměnlivé zatížení**

1.8 Otáčky n 316,0 [/min]

1.9 Radiální zatížení Fr 56,2 [N]

1.10 Axiální zatížení Fa 30,0 [N]

1.11 Součinitel přidavných dynamických sil 1

1.12 Požadované parametry ložiska

1.13 Trvanlivost ložiska Lh 10000 [h]

1.14 Součinitel statické bezpečnosti s0 2,00

1.3 Provedení ložiska

1.4 Utěsněné oboustranně

1.5 Samostatné ložisko

1.6 Normální ložisková vůle

1.15 Přidavné dynamické síly

1.16 ☒ Žádné

1.17 ☐ Od ozubených převodů

1.18 Běžná ozubená kola (úchytky tvaru a rozteče 0.02 až 0.1 mm)

1.19 Součinitel fk 1,1 - 1,3 1,20 ☒

1.20 Elektrické točivé stroje, turbíny, turbokompresory

1.21 Součinitel fd 1 - 1,2 1,10 ☒

1.22 ☐ Od řemenových převodů

1.23 Klínové řemeny

1.24 Součinitel fb 1,9 - 2,5 2,20 ☒

2.0 ☒ Volba rozměrů ložiska

2.1 Rozměry ložiska **Vyhledat Hledat další**

| ID | d | D | B | C | C0 | nr | nmax | Ložisko |
|----|-----|------|-----|------|-----|----|-------|------------|
| 13 | 8,0 | 19,0 | 6,0 | 1900 | 735 | | 24000 | 619/8-2RS1 |

2.2 Parametry ložiska

| | | | | |
|--|--------|--------|-------|-----|
| 2.3 Základní dynamická únosnost C | 1900 | [N] | d | 8 |
| 2.4 Dynamické ekvivalentní zatížení P | 89,7 | [N] | D | 19 |
| 2.5 Základní trvanlivost L10h | 501239 | [h] | B | 6 |
| 2.6 Základní statická únosnost C0 | 735 | [N] | ramax | 0,3 |
| 2.7 Statické ekvivalentní zatížení P0 | 56,2 | [N] | Damax | 17 |
| 2.8 Součinitel statické bezpečnosti s0 | 13,08 | | damin | 10 |
| 2.9 Dovolené radiální zatížení Frmax | - | [N] | | |
| 2.10 Dovolené axiální zatížení Famax | - | [N] | | |
| 2.11 Referenční otáčky nr | - | [/min] | | |
| 2.12 Mezní otáčky nmax | 24000 | [/min] | | |
| 2.13 Ztrátový výkon NR | 0,02 | [W] | | |
| 2.14 Váha ložiska g | 0,0071 | [kg] | | |

3.0 ☒ Provozní parametry, modifikovaná trvanlivost ložiska

3.1 Kinematická viskozita maziva

3.2 Vztažná viskozita V1 90 [mm²/s]

3.3 Provozní viskozita V 20,1 [mm²/s]

3.4 Viskózní poměr K 0,22

3.5 Požadované minimální zatížení

3.6 Minimální radiální zatížení Frmin 1,25 [N]

3.7 Výpočet modifikované trvanlivosti

3.8 Mezní únavové zatížení Pu 31 [N]

3.9 Požadovaná spolehlivost 90 %

3.10 Znečištění maziva Typické znečištění

3.11 Součinitel úrovně znečištění η 0,3 - 0,1 0,20 ☒

3.12 Součinitel trvanlivosti a1/a23 1 0,17

3.13 Modifikovaná trvanlivost Lmh 85211 [h]

Obr. 13-5 Kontrola ložiska



14 Ekonomické zhodnocení

V tomto případě je cena čtyř pohonů včetně řídicích modulů ESCON přibližně rovna ceně pěti pohonů spolu s řídicími moduly. Je to zapříčiněno snížením ceny, která je závislá na odebíraném množství. I pro realizaci prototypu je tedy výhodnější koupě pěti kombinací s uvažováním jedné jako náhradní. Viz příloha C. V ekonomickém zhodnocení jsou zahrnuty ceny Leap Motion i media konvertoru přestože jsou již zakoupeny.

Tab. 14-1 Ekonomické zhodnocení – Vyráběné komponenty

| 1. Vyráběné komponenty | Množství [ks] | Cena za kus v původní měně | Cena za kus [CZK] | Celková cena za uvedené množství [CZK] |
|---|---------------|-------------------------------|-------------------|---|
| 1.1 FDM – Tištěné díly z polykarbonátu | | | | |
| Přední blok rámu levý | 1 | - | 2 664 | 2 664 |
| Přední blok rámu pravý | 1 | - | 1 936 | 1 936 |
| Uložení Leap Motion | 1 | - | 694 | 694 |
| Zajištění akumulátoru | 2 | - | 400 | 800 |
| Náklady za podskupinu | | | | 6 094 |
| 1.2 Kovové díly | | | | |
| Držák pohonu přední | 2 | - | 1 500 | 3 000 |
| Držák pohonu zadní | 2 | - | 2 000 | 4 000 |
| Spodní blok rámu | 1 | - | 500 | 500 |
| Levý blok rámu | 1 | - | 250 | 250 |
| Pravý blok rámu | 1 | - | 250 | 250 |
| Zadní blok rámu | 1 | - | 500 | 500 |
| Horní blok rámu | 1 | - | 400 | 400 |
| Montážní deska pro elektroniku | 1 | - | 500 | 500 |
| Příruba kola | 4 | - | 600 | 2 400 |
| Držák rušičky signálu | 1 | - | 300 | 300 |



| | | | | |
|---------------------------------|---|---|-------|--------|
| Vedení solenoidu a spony | 1 | - | 100 | 100 |
| Spona pro zajištění | 1 | - | 100 | 100 |
| Náklady za podskupinu | | | | 12 300 |
| 1.3 Elektronika a příslušenství | | | | |
| ARM kontrolér | 1 | - | 2 500 | 2 500 |
| Náklady za podskupinu | | | | 2 500 |
| Celkové náklady za skupinu | | | | 20 894 |

Tab. 14-2 Ekonomické zhodnocení - Nakoupené komponenty

| 2. Nakoupené komponenty | Množství [ks] | Cena za kus v původní měně | Cena za kus [CZK] | Celková cena za uvedené množství [CZK] |
|--|---------------|----------------------------|-------------------|--|
| 2.1 Pohony | | | | |
| Maxon EC 45 flat + Maxon GS 45 A | 5 | - | 4 591,6 | 22 958 |
| Maxon ESCON 24/2 4Q | 5 | - | 1 979,4 | 9 897 |
| Náklady za podskupinu | | | | 32 855 |
| 2.2 Elektronika a příslušenství | | | | |
| Pico-ITX HYPER-BT | 1 | 221 USD | 5 405,7 | 5 405,7 |
| Kingston SO-DIMM DDR3 8 GB 1 333 MHz | 1 | - | 1 700 | 1 700 |
| Samsung SSD 850 PRO | 1 | | 3 390 | 3 390 |
| WIFI-RT3593-DB-R10 | 1 | 55 USD | 1 345,3 | 1 345,3 |
| Radiocrafts RC1780HP-RC232 | 2 | 23 GBP | 868,2 | 1 736,4 |
| Solenoid | 1 | 5 USD | 122,3 | 122,3 |
| Leap Motion | 1 | 90 EUR | 2 468,7 | 2 468,7 |



| | | | | |
|---------------------------------|----|--------|---------|-----------------|
| Hitec HS-5085 MG | 1 | 40 USD | 978,4 | 978,4 |
| Hitec Double Arm | 1 | 9 USD | 220,1 | 220,1 |
| Radiocrfts ANT2450QW-SMA | 3 | 5 USD | 122,3 | 366,9 |
| Radiocrfts ANT868/915QW-SMA | 1 | 5 USD | 122,3 | 122,3 |
| Zcomax ZX-C1002SFP | 2 | - | 775 | 1 550 |
| Hyperion G3 CX 4S 25C 4 000 mAh | 1 | 68 EUR | 1 865,2 | 1 865,2 |
| iMaxRC B4 Compact | 1 | 10 EUR | 274,3 | 274,3 |
| Neutrik powerCON 20 A NAC3FCA | 1 | - | 152 | 152 |
| Neutrik powerCON 20 A NAC3MPA-1 | 1 | - | 79 | 79 |
| Neutrik SCD-W | 1 | - | 30 | 30 |
| Arcoelectric P-C1353ALG01R | 1 | - | 79 | 79 |
| IR LED 3 mm | 18 | - | 5 | 90 |
| SMA female konektor | 4 | - | 100 | 400 |
| SC-SC simplex adaptér | 1 | - | 50 | 50 |
| Optický kabel 50 m | 1 | - | 500 | 500 |
| Napájecí kabel 50 m | 1 | - | 500 | 500 |
| SC simplex konektor | 4 | - | 150 | 600 |
| USB 3.0 micro-B | 1 | - | 100 | 100 |
| Ostatní konektory a kabeláž | - | - | 1 500 | 1 500 |
| Náklady za podskupinu | | | | 25 625,6 |
| | | | | |



| | | | | |
|-----------------------------------|-----------------|--------|-------|---------|
| 2.3 Kola | | | | |
| RC4WD 6 Lug Wagon 1.9" | 1 (Sada 4 kusů) | 50 USD | 1 223 | 1 223 |
| RC4WD Prowler XS 1.9" | 2 (Sada 2 kusů) | 20 USD | 489,2 | 978,4 |
| Náklady za podskupinu | | | | 2 201,4 |
| | | | | |
| 2.4 Ostatní | | | | |
| Igus Iglidur GFM-1214-06 | 2 | - | 30 | 60 |
| SKF 619/8-2RS1 | 4 | - | 306 | 1 224 |
| Spojovací materiál | - | - | 500 | 500 |
| Lakování | - | - | 3 000 | 3 000 |
| Náklady za podskupinu | | | | 4 784 |
| | | | | |
| Celkové náklady za skupinu | | | | 65 466 |



Tab. 14-3 Ekonomické zhodnocení - Sumarizace

| | |
|--|-------------------|
| 1. Vyráběné komponenty | |
| 1.1 FDM – Tištěné díly z polykarbonátu | 6 094 CZK |
| 1.2 Kovové díly | 12 300 CZK |
| 1.3 Elektronika a příslušenství | 2 500 CZK |
| Náklady za skupinu | 20 894 CZK |
| | |
| 2. Nakoupené komponenty | |
| 2.1 Pohony | 32 855 CZK |
| 2.2 Elektronika a příslušenství | 25 625,6 CZK |
| 2.3 Kola | 2 201,4 CZK |
| 2.4 Ostatní | 4 784 CZK |
| Náklady za skupinu | 65 466 CZK |
| | |
| Nepředpokládané náklady | 10 000 CZK |
| Celkové náklady | 96 360 CZK |

Celkové náklady na realizaci prototypu jsou včetně rezervy odhadnuty na 96 360 CZK. Ekonomické zhodnocení zohledňuje pouze náklady nutné pro výrobu a nákup potřebných komponent. Náklady spojené s následným vývojem optimalizovaného softwaru, dopravou, montáží a mzdami nejsou zahrnuty. Konečné náklady jsou také ovlivněny kurzem jednotlivých měn, clem a DPH. Přepočet cen je proveden dle kurzu České národní banky ze dne 1. 5. 2015.



15 Návrhy na postup

S rostoucí informační určitostí při realizaci, kdy jsou fyzicky k dispozici vybrané komponenty, se může ukázat jiné uspořádání jako vhodnější. Po realizaci je žádoucí otestovat robot v reálných podmínkách, kde se ověří, zdali jsou navržené pohonné jednotky dostatečně výkonné a splňují požadovaná kritéria. Dále je nutné otestovat rychlost přenosu obrazového výstupu z kamerového systému robotu na stanoviště operátora, správnost funkce odjišťovacího mechanismu rušičky signálu, dosah Wi-Fi komunikace a výdrž akumulátoru. Mezi další kroky patří integrace senzorů pro měření teploty dovnitř podvozku pro zjištění šíření tepla. Na základě výsledků se rozhodne, zdali je chlazení a odvod tepla přes rám a krytování dostačující, anebo je vhodné použít chladiče, popřípadě ventilátory pro cirkulaci vzduchu uvnitř podvozku. Pro optimalizaci kamerového modulu je možné odstranit krytování zařízení Leap Motion a použít pouze nezbytně nutné prvky. Obnažené kamery lze zakrýt IR propustným plastem černé barvy, který nijak neovlivní jejich funkčnost a zároveň přispěje k celkovému zlepšení estetického dojmu. Při použití IR propustného krytu se stanou kamery pro lidské oko neviditelné, stejně jako je tomu u Leap Motion. Pro řízení robotu je vhodné vyvinout optimalizovaný software, který umožňuje rozšířené možnosti ovládání.



16 Závěr

Přínosy práce jsou konstrukční návrh mobilního robotu malých rozměrů, který je uzpůsoben primárně pro pyrotechnické bezpečnostní složky, a možnost využití rozšířené reality v tomto odvětví. V úvodní části práce je provedena rešerše současného stavu dané problematiky. Žádný z nalezených robotických systémů malých rozměrů nedisponuje stereovizním kamerovým systémem a ani neumožňuje převoz a vyložení rušičky signálu. Na základě nabytých poznatků jsou stanoveny požadavky kladené na návrh konstrukce robotu. Požadavky kladné na kamerový systém vyplývají z parametrů headsetu Oculus Rift. Žádaná kritéria splňuje pouze zařízení Leap Motion, které slouží primárně pro práci s virtuální a rozšířenou realitou. Kamerový systém je otestován při simulaci reálné situace a obrazový výstup je sledován jako dostatečně kvalitní pro zjištění přítomnosti nástražného výbušného systému, který je instalován na podvozku automobilu. Návrh konstrukce robotu je proveden formou jednotlivých stádií, která jsou vždy podrobena hodnocení. Výsledky hodnocení jsou vždy zapracovány v následujícím stádiu. Celkem jsou provedena čtyři stadia návrhu.

Navržený robotický systém umožňuje kromě stereovizního IR vidění také převoz a vyložení rušičky signálu. Pro pohyb robotu jsou použity čtyři pohonné jednotky, které jsou tvořeny kombinací motoru Maxon EC 45 flat a převodovkou Maxon GS 45 A. Pohyb robotu je řízen diferenčně pomocí modulu Maxon ESCON 24/2 4-Q. Rozsah naklápění kamerového modulu je $\pm 90^\circ$. Díky tomu je možné použít robot jako univerzální pro potřeby monitoringu. Napájení je možné realizovat buď z interního zdroje, akumulátoru, popřípadě z externího zdroje pomocí napájecího kabelu. Nabíjení akumulátoru je možné bez nutnosti demontáže, neboť je integrováno nabíjecí zařízení přímo v podvozku. Bezdrátová komunikace využívá technologii Wi-Fi. Jako bezpečnostní pojistka při ztrátě signálu Wi-Fi slouží radiová komunikace s velkým dosahem. Řešení umožňuje také komunikaci přes kabel, kdy je využito přenosu dat přes optické vlákno. Výhodou této technologie je výrazně menší náchylnost na rušení v porovnání s metalickou kabeláží. Hmotnost robotu bez rušičky signálu činí 4 kg. Spolu s rušičkou pak 4,3 kg. Jsou splněny požadavky na maximální výšku robotu 100 mm, maximální hmotnost včetně rušičky signálu 5 kg a kompatibilitu kamerového systému s headsety Oculus Rift. Stávající výše nákladů na realizaci prototypu je 96 360 CZK. Při návrhu je usilováno o splnění všech požadavků. Jejich splnění lze zjistit až po realizaci prototypu a jeho nasazení v provozu.



* Hodnoty je nutné otestovat po realizaci prototypu.

Tab. 16-1 Robot pro video detekce automobilových podvozků

| Robot pro video detekce automobilových podvozků | |
|---|--|
| Pohon | Elektrický, 4 ks, Maxon EC 45 flat 30 W + Maxon GS 45 A |
| Rychlost pohybu | *Rovina - $1,5 \text{ m s}^{-1}$ *Nakloněná rovina - 1 m s^{-1} |
| Zaručený úhel stoupání | * 25° |
| Zdroj napájení | Interní - LiPo akumulátor Hyperion G3 CX 4S/14,8 V 4 000 mAh 25C Externí - Napájecí kabel s bezpečnostním zajištěním proti uvolnění |
| Doba provozu při napájení z akumulátoru | * $> 30 \text{ min}$ |
| Komunikace | Bezdrátová - Wi-Fi, radio Kabel s optickým vláknem pro obousměrnou komunikaci |
| Dosah komunikace | *Wi-Fi – 50 m Radio - $> 50 \text{ m}$ |
| Kamerový systém | Leap Motion Zorné pole - 100° diagonálně Rozsah naklápění - $\pm 90^\circ$ Doplněno o přísvit 18 IR LED |
| Rozměry rámu (d × š × v) | 235 × 202 × 60 mm |
| Celkové rozměry bez kabelu (d × š × v) | 292,3 × 284 × 96 mm |
| Celkové rozměry s kabelem (d × š × v) | 313,5 × 284 × 96 mm |
| Rozvor | 180,3 mm |
| Rozchod | 248 mm |
| Teoretická světla výška | 18 mm |
| Min. vzdálenost kamerového systému od podvozku (vztaženo ke krycímu sklu) | 29,4 mm |
| Hmotnost bez rušičky signálu | 4 kg |
| Hmotnost s rušičkou signálu | 4,3 kg |
| Stupeň krytí | IP44 |
| Možnost převozu a vyložení rušičky signálu | Max. hmotnost - 0,3 kg |



17 Seznam použitých zdrojů

- [1] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory*. 1. Vydání. Ostrava: VŠB – TUO, 2007. 229 s. ISBN 978-80-248-1522-0.
- [2] KÁRNÍK, Ladislav. *Praktické aplikace servisních robotů*. 1. Vydání. Ostrava: VŠB – TUO, 2011. 93 s. ISBN 978-80-248-2727-8.
- [3] VLK, František. *Dynamika motorových vozidel*. 2. Vydání. Brno: František Vlk, 2003. 434 s. ISBN 80-239-0024-2.
- [4] JANÍČEK, Miroslav. *Pyrotechnická ochrana před terorismem*. Vyškov: Educa Consulting, 2002. 158 s., [16] s. obr. příl. ISBN 80-902089-6-7.
- [5] LEINVEBER, Jan; VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. 4. Vydání. Úvaly: Albra, 2008. 914 s. ISBN 978-80-7361-051-7.
- [6] HANZLÍK, David. *Konstrukce a realizace podvozku mobilního robotu pro monitoring*. Ostrava, 2012. Diplomová práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robototechniky.
- [7] Recon Robotics. *Throwbot XT, Recon Scout UVI Robot* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://www.reconrobotics.com/>
- [8] Rotundus. *Rotundus* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://www.rotundus.se/>
- [9] iRobot. *iRobot 110 FirstLook* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://www.irobot.com/For-Defense-and-Security/Robots/110-FirstLook.aspx#PublicSafety>
- [10] Shephard. *New enhancements for FirstLook UGV* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://www.shephardmedia.com/news/uv-online/new-advancements-firstlook-ugv/>
- [11] BlueSheepdog. *iRobot 110 First Look Review* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://www.bluesheepdog.com/2013/06/21/irobot-110-first-look-review/>
- [12] ECA Group. *Cobra MK2 I* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://www.ecagroup.com/en/solutions/cobra-mk2-i>



- [13] 45ENORD.CA. *ECA obtient un premier contrat au Canada en robotique terrestre de defense* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://www.45enord.ca/2013/01/eca-obtient-un-premier-contrat-au-canada-en-robotique-terrestre-de-defense/>
- [14] Roboteam. *IRIS* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://www.robo-team.com/products/systems/iris>
- [15] Katedra robotiky. *Kraken* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://robot.vsb.cz/mobilni-roboty/kraken/>
- [16] Bounce Imaging. *Bounce Imaging Explorer* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://bounceimaging.com/>
- [17] Centrum aplikované kybernetiky 3. *WP6 – Komponenty robotického systému interakce člověk-stroj* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://labe.felk.cvut.cz/~kulich/CAK3/seminar2014-wp6.pdf>
- [18] VOP CZ. *3 D Scanner Kerberos* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: http://www.vop.cz/images/file/13_0561_VOP_CZ_prospekt_3D_scaner_CZE.pdf
- [19] Tangreat. *Portable Bomb Jammers* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://www.tangreat.com/en/product-detail-35.html>
- [20] Jammer4uk. *Portable Cell Phone & Wifi Jammer* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://www.jammer4uk.com/portable-cell-phone-wifi-jammer-p-23.html?zenid=qk4luvctI91akbp9fnf8u8s6m2>
- [21] Autolexicon. *Užitečná hmotnost* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/uzitecna-hmotnost/>
- [22] Renault. *Osobní vozy* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://www.renault.cz/nove-vozy/osobni-vozy/>
- [23] Volkswagen. *Přehled modelů* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: http://www.volkswagen.cz/modely/prehled_modelu
- [24] ŠKODA AUTO. *ŠKODA Modely* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://www.skoda-auto.cz/>



- [25] Hyundai. *Modely* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://www.hyundai.cz/>
- [26] Oculus VR. *Development Kit 2* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <https://www.oculus.com/dk2/>
- [27] Oculus Rift. *Development Kit 2* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <https://d3nevzfk7ii3be.cloudfront.net/igi/in1WqvSDlbQLvTiM.medium>
- [28] IFIXIT. *Oculus Rift Development Kit 2 Teardown* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <https://www.ifixit.com/Teardown/Oculus+Rift+Development+Kit+2+Teardown/27613>
- [29] FPV3DCam. *The BlackBird* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://fpv3dcam.ru/>
- [30] ESCAD Trade. *MO-S5588A-2V* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://www.escadtrade.cz/mo-s5588a-2v-p-ultraminiaturni-barevna-cciq-iii-kamera-s-pinhole-objektivem-a-mikrofonem.html>
- [31] ESCAD Trade. *MO-SL88A-3D* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://www.escadtrade.cz/mo-sl88a-3d-p-miniaturni-ultra-tenka-barevna-cciq-iii-kamera-s-pinhole-objektivem-a-mikrofonem.html>
- [32] QRV Systems. *Recon Scout UVI* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: http://www.qrv.cz/files/Recon-Scout_Under_Vehicle_Inspection_Robot.pdf
- [33] Adafruit. *Raspberry Pi Cameras* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://www.adafruit.com/categories/177>
- [34] Ovrvision. *Stereo Camera for Oculus Rift* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://ovrvision.com/>
- [35] Logitech. *Logitech HD Pro Webcam C920* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://www.logitech.com/cs-cz/product/hd-pro-webcam-c920>
- [36] Leap Motion. *Leap Motion* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <https://www.leapmotion.com/>
- [37] Sparkfun. *Leap Motion Teardown* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/leap-motion-teardown>



- [38] Particulate Solutions. *Leap Motion Just a Game or the Future* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://tech.particulate.me/meta/2013/07/25/leap-motion-just-a-game-or-the-future/>
- [39] Maxon Motor. *EC flat Program, Spur Gearheads, ESCON* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://www.maxonmotor.com/>
- [40] Sparkfun. *Solenoid – 5V (small)* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/products/11015>
- [41] Grabcad. *5V Solenoid* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <https://grabcad.com/library/5v-solenoid-1>
- [42] Servocity. *Hitec HS-5085MG* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: https://www.servocity.com/html/hs-5085mg_servo.html#.VVIKBPntmkr
- [43] Hitec Multiplex. *HS-5085MG Premium Metal Gear Micro Servo* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://hitecprd.com/products/servos/micro-and-mini-servos/digital-micro-and-mini-servos/hs-5085mg-premium-metal-gear-micro-servo/product>
- [44] Grabcad. *Mini Servo Hitec HS-85BB* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <https://grabcad.com/library/mini-servo-hitec-hs-85bb-1>
- [45] RC4WD. *Wheels, Tires* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://store.rc4wd.com/>
- [46] IEI Smart City Solutions. *Pico-ITX HYPER-BT, WIFI-RT3593-DB-R10* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://ieismartcity.com/>
- [47] Infopecas. *Kingston* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://infopecas.commercesuite.com.br/memoria-kingston-8gb-1333mhz-ddr3-kvr1333d3s9-8g-p-notebook-pr-530-359758.htm>
- [48] Samsung. *SSD 850 PRO 128GB* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://www.samsung.com/cz/consumer/storage-monitors/storage/ssd-disks/MZ-7KE128BW?subsubtype=850-pro>
- [49] TweakTown. *Samsung SSD 850 PRO 128GB* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: http://www.tweaktown.com/image.php?image=imagescdn.tweaktown.com/content/6/4/6479_12_samsung_850_pro_128gb_ssd_review_full.jpg



- [50] Radiocrafts. *RC232, Antennas* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://radiocrafts.com/>
- [51] Alternetivno. *Optické sítě* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: http://www.alternetivno.cz/opticke-site_c1242.html
- [52] PC Tuning. *Technologie přenosu dat přes optická vlákna* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://pctuning.tyden.cz/hardware/site-a-internet/9994?start=1>
- [53] Neutrik. *powerCON* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://www.neutrik.com/en/industrial/powercon/>
- [54] GM Elecronic. *Arcolectric* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/p-c1353alg01r-p631-298>
- [55] Hyperion. *Hyperion G3 CX – 4S 4000 mAh (25C)* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://www.hyperion-eu.com/products/product/HP-LG325-4000-4S>
- [56] iMaxRC. *iMaxRC B4 Compact* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://www.imaxrc.com/B4-Compact.html>
- [57] Logitech. *Gamepad Logitech F710* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://gaming.logitech.com/assets/47831/f710-gaming-gamepad-images.png>
- [58] Grabcad. *Leap Motion Cable Door Mount for Oculus DK2* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <https://grabcad.com/library/leap-motion-cable-door-mount-for-oculus-dk2-1>
- [59] Cartype. *Volkswagen Golf generations* [online] [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: http://cartype.com/pages/6041/volkswagen_golf_generations



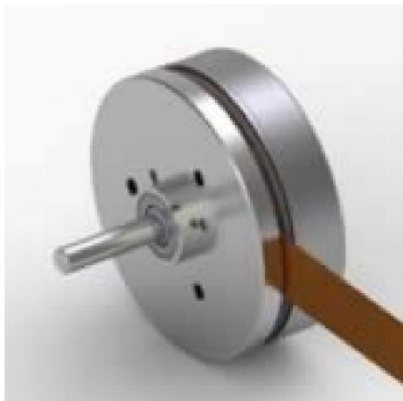
18 Seznam příloh

| | |
|-----------|---|
| Příloha A | Datové listy pohonu a řídicího modulu |
| Příloha B | Přenos obrazového výstupu z Leap Motion do headsetu Oculus Rift DK2 |
| Příloha C | Cenová nabídka |

| | | |
|---------|------------------|-----------|
| Výkresy | Robot | sos-DP-01 |
| | Rám – Horní blok | sos-DP-02 |
| | Rám – Zadní blok | sos-DP-03 |

Přiložené CD

Příloha A Datové listy pohonu a řídicího modulu

EC 45 flat Ø42.9 mm, brushless, 30 Watt, with Hall sensors
Part number 200142**Values at nominal voltage**

| | |
|---|----------|
| Nominal voltage | 12 V |
| No load speed | 4370 rpm |
| No load current | 163 mA |
| Nominal speed | 2940 rpm |
| Nominal torque (max. continuous torque) | 55 mNm |
| Nominal current (max. continuous current) | 2.02 A |
| Stall torque | 255 mNm |
| Stall current | 10 A |
| Max. efficiency | 76 % |

Characteristics

| | |
|--------------------------|-----------------------|
| Terminal resistance | 1.2 Ω |
| Terminal inductance | 0.56 mH |
| Torque constant | 25.5 mNm/A |
| Speed constant | 374 rpm/V |
| Speed / torque gradient | 17.6 rpm/mNm |
| Mechanical time constant | 17.1 ms |
| Rotor inertia | 92.5 gcm ² |

Thermal data

| | |
|------------------------------------|---------------|
| Thermal resistance housing-ambient | 6.69 K/W |
| Thermal resistance winding-housing | 3.92 K/W |
| Thermal time constant winding | 11.4 s |
| Thermal time constant motor | 295 s |
| Ambient temperature | -40...+100 °C |
| Max. winding temperature | +125 °C |

Mechanical data

| | |
|------------------------------------|------------------------|
| Bearing type | ball bearings |
| Max. speed | 10000 rpm |
| Axial play | 0 - 0.14 mm |
| Max. axial load (dynamic) | 4.8 N |
| Max. force for press fits (static) | 53 N |
| (static, shaft supported) | 1000 N |
| Max. radial load | 21 N, 8 mm from flange |

Other specifications

| | |
|----------------------------|---|
| Number of pole pairs | 8 |
| Number of phases | 3 |
| Number of autoclave cycles | 0 |

Product

| | |
|--------|------|
| Weight | 75 g |
|--------|------|

Spur Gearhead GS 45 A Ø45 mm, 0.5 - 2.0 Nm

Part number 301179

**General information**

| | |
|----------------|-------|
| Gearhead type | GS |
| Outer diameter | 45 mm |
| Version | A |

Gearhead Data

| | |
|---|-----------------------|
| Reduction | 9.3 : 1 |
| Absolute reduction | 2295/247 |
| Max. motor shaft diameter | 3 mm |
| Number of stages | 2 |
| Max. continuous torque | 0.5 Nm |
| Max. intermittent torque | 0.75 Nm |
| Direction of rotation, drive to output | = |
| Max. efficiency | 87 % |
| Average backlash no load | 1.6 ° |
| Mass inertia | 2.05 gcm ² |
| Gearhead length (L1) | 23.5 mm |
| Max. transmittable power (continuous) | 45 W |
| Max. transmittable power (intermittent) | 67 W |

Technical Data

| | |
|-------------------------------|---------------------------------|
| Radial play | max. 0.15 mm, 10 mm from flange |
| Axial play | 0.02 - 0.2 mm |
| Max. radial load | 120 N, 10 mm from flange |
| Max. axial load (dynamic) | 60 N |
| Max. force for press fits | 60 N |
| Max. continuous input speed | 6000 rpm |
| Recommended temperature range | -15...+100 °C |
| Extended temperature range | -40...+100 °C |
| Number of autoclave cycles | 0 |

Product

| | |
|--------|-------|
| Weight | 220 g |
|--------|-------|

ESCON Module 24/2, 4-Q servo controller for DC/EC motors, 2/6 A, 10-24 VDC

Part number 466023

**Product**

| | |
|--------|-----|
| Weight | 7 g |
|--------|-----|

Motor

| | |
|-----------------|------|
| DC motors up to | 48 W |
| EC motors up to | 48 W |

Sensor

| | |
|---|-----|
| Without sensor (DC motors) | Yes |
| DC tachometer | Yes |
| Digital incremental encoder (2-channel, single-ended) | Yes |
| Digital incremental encoder (2-channel, differential) | Yes |
| Digital incremental encoder (3-channel, differential) | Yes |
| Digital Hall sensors (EC Motors) | Yes |

Operating modes

| | |
|--------------------------------|-----|
| Current controller | Yes |
| Speed controller (open loop) | Yes |
| Speed controller (closed loop) | Yes |

Electrical data

| | |
|---|------------|
| Operating voltage Vcc (min.) | 10 V |
| Operating voltage Vcc (max.) | 24 V |
| Max. output voltage (factor * Vcc) | 0.98 |
| Max. output current I _{max} | 6 A |
| Max. time of peak output current I _{max} | 4 s |
| Continuous output current I _{cont} | 2 A |
| PWM clock frequency of power stage | 53.6 kHz |
| Sampling rate PI current controller | 53.6 kHz |
| Sampling rate PI speed controller | 5.36 kHz |
| Max. efficiency | 92 % |
| Max. speed (DC) | 150000 rpm |
| Max. speed (EC; 1 pole pair) block commutation | 150000 rpm |

Inputs

| | |
|---------------------------------|--|
| Hall sensor signals | H1, H2, H3 |
| Encoder signals | A, A ₊ , B, B ₊ |
| Max. encoder input frequency | 1 MHz |
| Digital inputs | 2 |
| Functionality of digital inputs | Enable, enable CW, enable CCW, enable CW+CCW, enable + direction of rotation, stop, PWM set value, RC Servo set value, fixed set value |
| Analog inputs | 2 |
| Resolution, range, circuit | 12-bit, -10...+10V, differential |
| Functionality of analog inputs | Set value, current limit, offset, speed ramp |

Outputs

| | |
|----------------------------------|--|
| Digital outputs | 2 |
| Functionality of digital outputs | ready, speed comparator, current comparator, commutation frequency |
| Analog outputs | 2 |



| | |
|---------------------------------|--|
| Resolution, range | 12-bit, -4...+4V |
| Functionality of analog outputs | current monitor, speed monitor, temperature, fixed value |

Voltage outputs

| | |
|----------------------------|--------------------|
| Hall sensor supply voltage | +5 VDC, max. 30 mA |
| Encoder supply voltage | +5 VDC, max. 70 mA |
| Auxiliary output voltage | +5 VDC, max. 10 mA |

Interface

| | |
|----------------------|-----|
| USB 2.0 (full speed) | Yes |
|----------------------|-----|

Display

| | |
|--------------------------|-----------|
| Status indicator "Ready" | green LED |
| Status indicator "Error" | red LED |

Protective functions

| | |
|----------------------|--|
| Protective functions | current limit, overcurrent, excess temperature, undervoltage, overvoltage, voltage transients, short-circuits in the motor cable |
|----------------------|--|

Ambient conditions

| | |
|----------------------------------|--------|
| Temperature – Operation (min.) | -30 °C |
| Temperature – Operation (max.) | 60 °C |
| Temperature – Storage (min.) | -40 °C |
| Temperature – Storage (max.) | 85 °C |
| Humidity (non-condensing) (min.) | 20 % |
| Humidity (non-condensing) (max.) | 80 % |

Mechanical data

| | |
|--------------------|---|
| Weight | 7 g |
| Dimension (length) | 35.6 mm |
| Dimension (width) | 26.7 mm |
| Dimension (height) | 12.7 mm |
| Mounting | mountable on socket terminal strips pitch 2.54 mm |

Software

| | |
|--------------------------|--------------------------------------|
| Installation program | ESCON Setup |
| Graphical User Interface | ESCON Studio |
| Operating system | Windows 8, Windows 7, Windows XP SP3 |

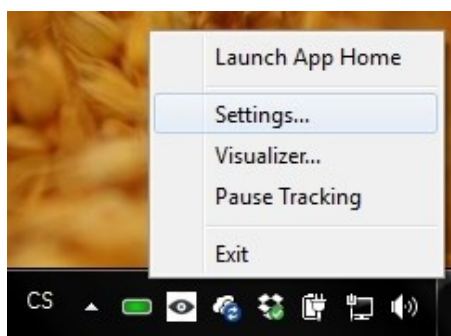
Příloha B Přenos obrazového výstupu z Leap Motion do headsetu Oculus Rift DK2

Leap Motion

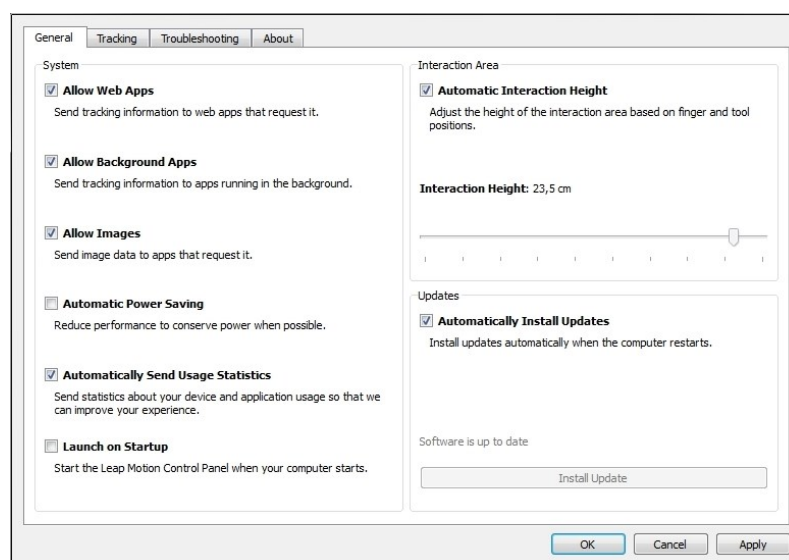
1. Připojte zařízení Leap Motion pomocí přiloženého USB kabelu k počítači. Po připojení se rozsvítí zelená signalizační LED.
2. Stáhněte software Leap Motion SDK (dostupný ve verzích pro Windows, OS X, Linux). Aktuálně nejnovější verze SDK v2.2.3.25971.
3. Nainstalujte stažený ovladač Leap Motion SDK.
4. Po instalaci se rozsvítí IR LED uvnitř zařízení a vytvoří se ikona v oznamovací oblasti hlavního panelu.

 Vypnuto  Zapnuto  Znečištěné krycí sklo

5. Klikněte pravým tlačítkem myši na ikonu Leap Motion Controller a zvolte Settings...

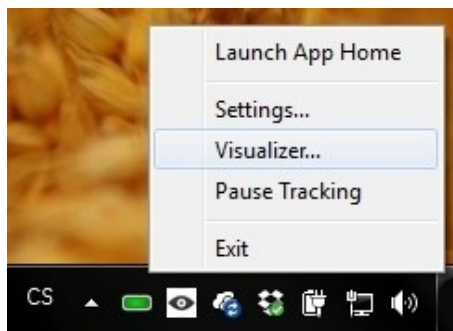


6. V záložce General zaškrtněte Allow Images, čímž povolíte přístup k neupravenému obrazovému výstupu z kamer. V záložce Tracking lze nastavit funkce snímání pohybu rukou.

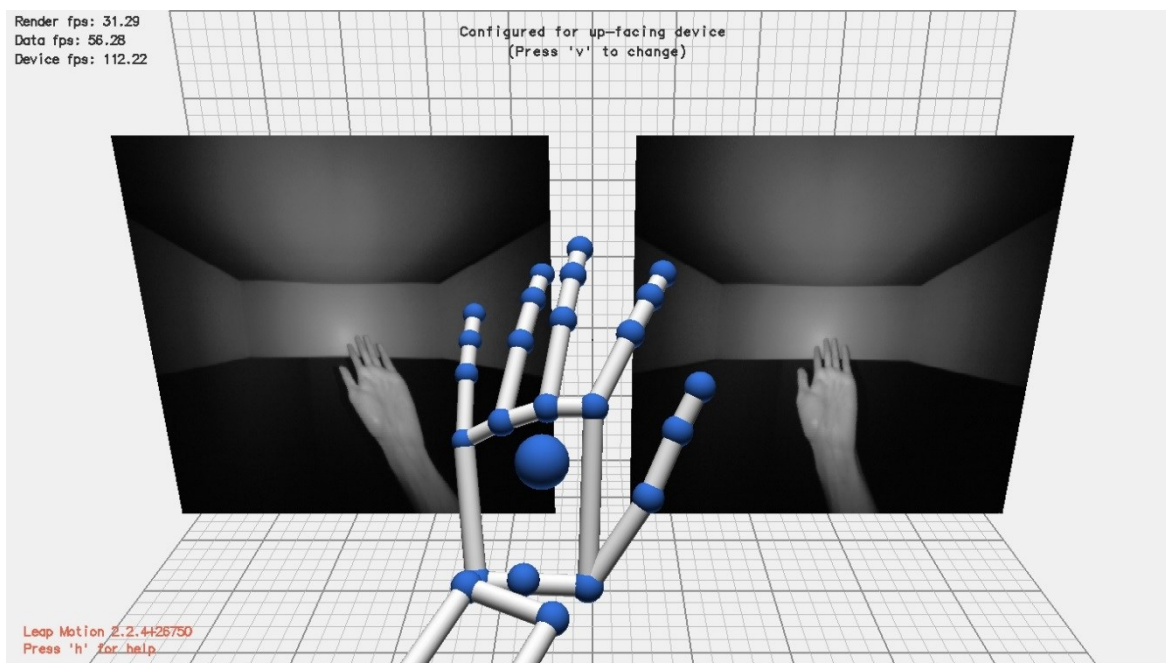


7. Potvrďte nastavení pomocí OK.


8. Klikněte pravým tlačítkem myši na ikonu Leap Motion Controller a zvolte Visualizer...

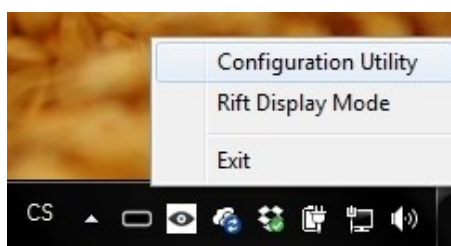


Prostředí zobrazuje nejen obrazový výstup kamer, ale také zjednodušené modely rukou nad zařízením. Stiskem klávesy H (Help) se zobrazí rychlost snímání kamer spolu s legendou funkcí dalších kláves.



Oculus Rift DK2

1. Připojte headset Oculus Rift DK2 pomocí USB a HDMI kabelů k počítači. Připojení přiložené kamery, která snímá pohyb headsetu, není potřeba. Po připojení se rozsvítí oranžová signalizační LED na headsetu.
2. Stáhněte software Oculus Runtime (dostupný ve verzích pro Windows, OS X). Aktuálně nejnovější verze Runtime 0.4.4.
3. Nainstalujte stažený ovladač Oculus Runtime.
4. Po instalaci je vyžádáno restartování. V oznamovací oblasti hlavního panelu se vytvoří ikona .
5. Klikněte pravým tlačítkem myši na ikonu Oculus VR a zvolte Configuration Utility.

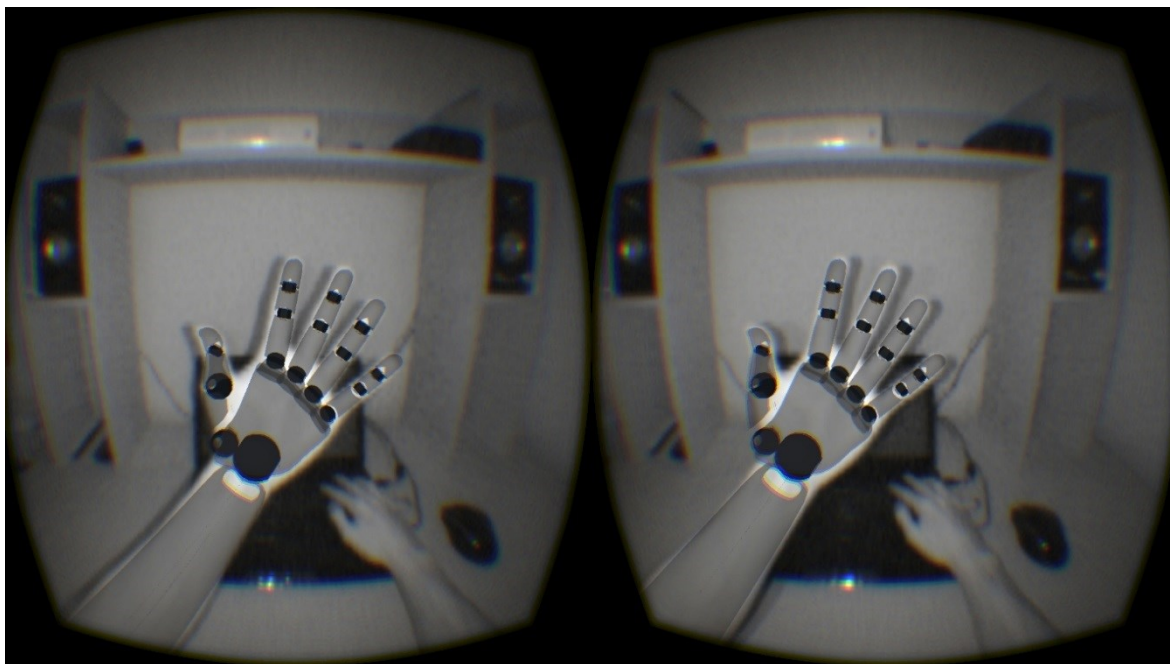


6. V otevřeném okně ověřte, že je detekováno připojení DK2.



Obrazový výstup z Leap Motion v Oculus Rift DK2

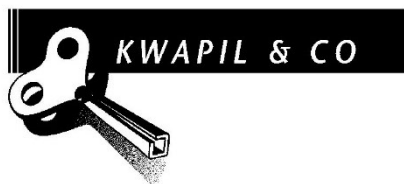
1. Stáhněte soubor Oculus Passthrough, který následně rozbalte.
2. Po rozbalení spusťte OculusPassthrough_DirectToRift.exe.
3. Po spuštění se na DK2 rozsvítí modrá LED, která signalizuje přenos obrazu. Obraz přenášený do headsetu je totožný s obrazem na displayi počítače.



4. Pro zmizení upozornění stiskněte libovolnou klávesu.
5. Pro zavření aplikace stiskněte kombinaci kláves Alt+F4.



Příloha C Cenová nabídka

NABÍDKA
ČÍSLO

1540937

Strana: 1
 Datum: 19.03.2015
 Způsob poptávky: per E-Mail / 19.03.2015
 Poptávku vystavil: Mr. Marek Šostok
 Zákazník-telefon: 00420/.596 993 196
 Zákazník fax: 00420/.596 916 490
 Zodpovědná osoba: Jiří Rýznar/+420 541 211 538
 Technický pracovník/linka: Jiří Rýznar/-

VŠB - Technická Univerzita Ostrava
 Fakulta strojní
 Katedra robototechniky
 pro Mr. Marek Šostok
 17. listopadu 15
 CZ-708 33 Ostrava-Poruba

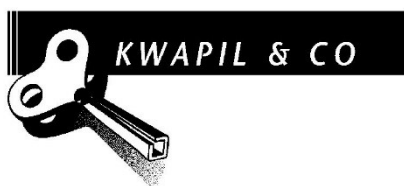
| Pol. | Položka | Množství | Jednotka | Cena | % | Cena/kus | Datum dodání | Celkem |
|------|--|----------|----------|----------|---|----------|--------------|------------------|
| 1 | | | | | | | | |
| | 339929 | 4,00 | STK | 5.447,20 | | 5.447,20 | | 21.788,80 |
| | maxon Kombination | | | | | | | |
| | 200142 EC Motor EC 45FL, BL, Y, 30W, KL, 1WE | | | | | | | |
| | 301179 GS Ø45 A, 0.5Nm, 2St, KL, i=9 | | | | | | | |
| | 466023 | 4,00 | STK | 2.379,99 | | 2.379,99 | | 9.519,96 |
| | maxon 4-Quadranten PWM-Servocontroller | | | | | | | |
| | für DC/EC Motoren, 2/6A, 10-24VDC | | | | | | | |
| | ESCON Modul 24/2 | | | | | | | |
| | Celkem položka | | | | | | | 31.308,76 |
| 2 | | | | | | | | |
| | 339929 | 5,00 | STK | 4.591,60 | | 4.591,60 | | 22.958,00 |
| | maxon Kombination | | | | | | | |
| | 200142 EC Motor EC 45FL, BL, Y, 30W, KL, 1WE | | | | | | | |
| | 301179 GS Ø45 A, 0.5Nm, 2St, KL, i=9 | | | | | | | |
| | 466023 | 5,00 | STK | 1.979,44 | | 1.979,44 | | 9.897,20 |
| | maxon 4-Quadranten PWM-Servocontroller | | | | | | | |
| | für DC/EC Motoren, 2/6A, 10-24VDC | | | | | | | |
| | ESCON Modul 24/2 | | | | | | | |
| | Celkem položka | | | | | | | 32.855,20 |

Platba: 14 dní
 Dodávka: Zásilková služba zahraničí
 Dodací podmínky: EXW Vídeň

| | | |
|---------------|------------|------------------|
| Celkem | CZK | 64.163,96 |
|---------------|------------|------------------|

|| D E R E R F O L G S A N T R I E B

Kwapil & Co Gesellschaft mbH
 Pohony a elektronika
 AT-1210 Wien, Austria, Kammeltweg 9
 verkauf@kwapil.com, www.kwapil.com
 Telefon +43 (1) 278 85 85-0
 Telefax +43 (1) 278 85 86
 UID-Nr. ATU15072604
 FN126212g, Obchodní registr ve Vídni, DVR 0396419



NABÍDKA ČÍSLO

1540937

| | |
|----------------------------|------------------------------|
| Strana: | 2 |
| Datum: | 19.03.2015 |
| Způsob poptávky: | per E-Mail / 19.03.2015 |
| Poptávku vystavil: | Mr. Marek Šostok |
| Zákazník-telefon: | 00420/./596 993 196 |
| Zákazník fax: | 00420/./596 916 490 |
| Zodpovědná osoba: | Jiří Rýznar/+420 541 211 538 |
| Technický pracovník/linka: | Jiří Rýznar/- |

VŠB - Technická Univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra robototechniky
pro Mr. Marek Šostok
17. listopadu 15
CZ-708 33 Ostrava-Poruba

Dodací lhůta: 6-8 týdnů po potvrzení objednávky.

Balné a poštovné bude účtováno dle skutečných nákladů.

Objednávka se řídí všeobecnými obchodními podmínkami firmy Kwapil & Co v posledním znění.

Minimální hodnota objednávky je EUR 300,00 nebo ekvivalent v Kč. Při nižší hodnotě objednávky bude automaticky doúčtován manipulační poplatek v příslušné výši.

Platnost nabídky: 1 měsíce.

S případnými dotazy neváhejte kontaktovat Jiřího Rýznara, tel.: +420 541 211 538 nebo e-mail: ryznar@kwapil.com

S přáním hezkého dne,
Jiří Rýznar
Kwapil & Co Gesellschaft mbH

Všecké procesy ve společnosti maxon motor jsou plánovány, kontrolovány a prováděny v souladu s normou ISO9001.

|| D E R E R F O L G S A N T R I E B

Kwapil & Co Gesellschaft mbH
Pohony a elektronika
AT-1210 Wien, Austria, Kammeltweg 9
verkauf@kwapil.com, www.kwapil.com

Telefon +43 (1) 278 85 85-0
Telefax +43 (1) 278 85 86
UID-Nr. ATU15072604
FN126212g, Obchodní registr ve Vídni, DVR 0396419



Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce panu Ing. Zdenku Bobovskému, Ph.D. za odborné vedení, rady a podněty; panu Ing. Jánů Babjakovi, Ph.D. za poskytnuté informace při návrhu elektroniky. Dále děkuji pánům Ing. Tomáši Kotovi, Ph.D. za poznatky týkající se úprav obrazového výstupu kamer a Ing. Václavu Krysovi, Ph.D. za práci spojenou s technologií Rapid Prototyping. Za objasnění problematiky nástražných výbušných systémů děkuji panu Ing. Stanislavu Lichorobiecovi, Ph.D. a rovněž děkuji Katedře robotiky za poskytnutí headsetu Oculus Rift DK2 a zařízení Leap Motion pro testování.